

Universita Karlova v Praze

Přírodovědecká fakulta

Ústav pro životní prostředí



**Biomasa vegetace různě starých
rekultivovaných a nerektivovaných výsypek**

Plant biomass of reclaimed and unreclaimed heps of various age

Vedoucí diplomové práce:

doc. Mgr. Ing. Jan Frouz CSc.

Autor:

Petr Dvorščík

Srpen 2012

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně pod vedením Doc. Ing. Mgr. Jana Frouze, CSc. a že jsem uvedl všechny literární prameny, ze kterých jsem čerpal.

V Praze, Srpen 2012

Petr Dvorščík

Poděkování

Chtěl bych vyjádřit svůj vděk všem, kteří mi pomohli při vytvoření této práce. Především bych rád poděkoval vedoucímu práce Doc. Ing. Mgr. Janu Frouzovi, CSc., za jeho trpělivou a ochotnou pomoc a rady při zpracování diplomové práce. Rodině děkuji za podporu při studiu a za vytvořené zázemí. Dále děkuji všem kolegům za spolupráci a můj dík patří i přátelům a partnerce, kteří mě podporovali.

Obsah

1.	Úvod	6
2.	Cíle práce	7
3.	Literární rešerše	8
3.1.	Těžba	8
3.2.	Rekultivace	9
3.3.	Sukcese	10
3.4.	Primární produkce	12
4.	Metodika	13
4.1.	Popis zájmového území	13
4.2.	Terénní práce a zpracování vzorků	16
4.2.1.	Inventarizace dřevin	16
4.2.2.	Destruktivní vzorkování dřevin	17
4.2.3.	Nadzemní biomasa bylin	19
4.2.4.	Biomasa jemných kořenů	19
4.2.5.	Množství listového opadu	19
4.2.6.	Zpracování dat a jejich statistická analýza	20
5.	Výsledky	21
5.1.	Destruktivní analýza dřevin a stanovení alometrických rovnic	21
5.2.	Charakteristika stromového porostu na rekultivovaných a nerektivovaných plochách	26
5.3.	Rozvoj biomasy stromových porostů na rekultivovaných a nerektivovaných plochách	29
5.4.	Celková biomasa lokalit	33
5.5.	Biomasa opadu	38
6.	Diskuse	39
7.	Závěr	42
8.	Použitá literatura	43

Abstrakt

Tato diplomová práce je zpracována jako část komplexního výzkumu sukcese na Podkrušnohorské výsypce u Sokolova (severo-západních Čechy, GPS: 50°13'34.695"N, 12°42'6.627"E). Cílem této práce je popsat vývoj množství biomasy rekultivovaných a nerektivovaných lokalit na dvou paralelních chronosekvencích. Nerektivované plochy jsou zarostlé spontánní sukcesním porostem s převážným zastoupením Vrby jívou (*Salix caprea*) s příměsí Topolu osiky (*Populus tremula*) a Břizy bělokoré (*Betula pendula*). Rekultivované plochy jsou zastoupeny lesnickou výsadbou olše lepkavé (*Alnus glutinosa*) s příměsí olše šedé (*Alnus incana*). Na těchto plochách byla provedena inventarizace celkové biomasy (nadzemní i podzemní biomasa bylinného i stromového patra) daných lokalit.

K stanovení biomasy dřevin bylo použito původních alometrických rovnic vytvořených na základě destruktivní analýzy hlavních druhů stromů z lokalit odpovídajících výzkumným plochám.

Analýzy prokázaly, že na lokalitě Podkrušnohorské výsypky není statisticky významný rozdíl z hlediska způsobu obnovy lokality a to jak pro celkovou biomasu, tak pro jednotlivé sledované komponenty.

Klíčová slova: chronosekvence, biomasa, sukcese, rekultivace, výsypka, alometrie

Abstract

This thesis has been elaborated as a part of complex succession research on the Velká podkrušnohorská spoil heap near Sokolov (north-west Bohemia, GPS: 50°13'34.695"N, 12°42'6.627"E) . The objective of this work is to describe biomass development of reclamational and successional localities on a chronosequence example. Unreclaimed areas are represented by successional spontaneous vegetation with dominant Goat willow (*Salix caprea*) with an mixture of European aspen (*Populus tremula*) and European birch (*Betula pendula*). Reclamation areas are represented by forest planting of Black alder (*Alnus glutinosa*) mixed with Grey alder (*Alnus incana*). On this localities was quantify total biomass (above and below ground biomass of herb and tree layer).

Data evaluation was performed using allometric equations formed on destructive analysis of the main tree types.

There is not statistically significant difference between the recovery site methods.

Keywords: chronosequence, biomass, succession, reclamation, spoil-heap, allometric

1. Úvod

Je zřejmé, že při povrchové těžbě uhlí dochází k degradaci i devastaci přírodního prostředí (Bradshaw, 1997). Pro zmírnění negativních důsledků těžby jsou plánovány a prováděny rekultivace dotčených ploch. V současné době je velká část těchto ploch rekultivována formou lesnické rekultivace a to jednak díky menší poptávce po zemědělské půdě a větší schopnosti lesních ploch obnovovat ekologické funkce krajiny jako je regulace vodního režimu, snižování prašností sequestrace uhlíku atp. Zároveň se objevila řada studií sledujících rozvoj ekosystémů v rámci spontánní sukcese na plochách, které z nějakého důvodu nebyly rekultivovány. Studium těchto ploch má řadu významů jednak nám umožňuje lepší pochopení sukcesních procesů, jednak nám umožňuje posoudit skutečnou přidanou hodnotu rekultivačních opatření a v neposlední řadě může přispět do probíhající diskuse volající po větším využívání spontánních procesů v rekultivační praxi (Řehounek a kol., 2010). Pro obnovu ekologických funkcí ekosystému po ukončení těžby je nutná obnova půdy. Zejména důležitý je organo-minerální horizont ovlivněn přítomnou vegetací. Vegetační kryt je zdrojem organické hmoty pro navazující půdní procesy (Frouz a kol., 2001). Zde je třeba říci, že většina současných studií zabývajících se sukcesí na výsypkách se soustřeďuje na porovnání diversity, zatímco o porovnání produkce máme jen velmi kusé informace. Přitom však obnova primární produkce je jedním z významných předpokladů obnovy ostatních ekologických funkcí. Tato práce se snaží kvantifikovat celkové množství biomasy vytvořené na lokalitě primárními producenty.

V užším pojetí práce zapadá do kontextu dlouhodobého ekologického výzkumu školitele, Doc. Ing. Mgr. Jana Frouze, CSc., v dané lokalitě. Proběhly zde již četné výzkumy, týkající se fyzikálních i biologických charakteristik lokality. Již řešené práce se zabývali chemickými vlastnostmi půd (Frouz a kol., 2008), vodním režimem lokality (Cejpek, 2011) i biologickými vztahy na lokalitě (Frouz a kol., 2006; Frouz a kol., 2008). Stromové vegetace se blíže dotýkal výzkum zabývajících se dendrometrií (Cienciala, 2006), či rozvojem sukcesní lokality jakožto přípravného společenstva pro nástup druhů stromů pozdního

sukcesního stadia (Vobořilová, 2011). Tato práce je jednou z mnoha prací, které řeší danou lokalitu a poskytuje další informace k poznání ekologických vztahů na lokalitě sokolovské výsypky.

Tematicky práce navazuje na dřívější proběhlý výzkum dendrometrie, který kvantifikoval množství nadzemní stromové biomasy na některých lokalitách (Cienciala, 2006). Dohromady by tyto studie měly poskytnout představu o časovém průběhu vývoje celkové biomasy vegetace.

2. Cíle práce

Práce byla zaměřena na porovnání primární produkce rekultivovaných a nerektivovaných ploch. Vzhledem k tomu, že tento parametr může mít různou časovou dynamiku na rekultivovaných a nerektivovaných plochách, sledovali jsme u obou skupin ploch vývoj primární produkce v čase pomocí dvou chronosekvencí umístěných v těsné blízkosti na jedné výsypce. Hlavní otázka práce teda byla, zda se liší objem primární produkce, její struktura a vývoj a během času.

3. Literární rešerše

3.1. Těžba

Těžba nerostných surovin je jedním ze základů rozvinuté průmyslové společnosti a jako taková má dlouhou tradici. Neméně dlouhou tradici mají i dopady těžby na ekosystémy (Blažková, 2011).

Nerostné suroviny můžeme těžít řadou způsobů, soustředíme-li se však na těžbu dobýváním, pak existují dva základní druhy těžby. A to těžba hlubinná a těžbu povrchová (Štýs, 1981).

Principem hlubinné těžby je zhotovení sítě podzemních tunelů protínajících těžené ložisko, které je následně odtěženo. Nevýhodou hlubinné těžby je zejména výrazně menší výrubnost oproti těžbě povrchové. Hlubinná těžba se projevuje na povrchu zejména vznikem propadů a poklesů, které v převážné většině případů znamenají změnu hydrologického režimu v místě depresí. Následné opuštění hospodářských ploch ležících nad vlastním poklesem je velmi častý důsledek tohoto jevu (Dimitrovský, 2001). Ploště méně významné jsou odvaly, tedy hlušina, která se musí odstranit při dobývání k surovině.

Ještě v roce 1946 se více jak polovina uhlí na Sokolovsku těžila hlubinnou těžbou. S vývojem technologií se postupně přešlo k těžbě povrchové (Dimitrovský, 2001). Principem povrchové těžby je kompletní odstranění nadloží a odkrytí ložiska, které pak může být zcela vytěženo. Průběh povrchové těžby má ovšem mnohonásobně vyšší dopady na krajinný ráz i na společnost. Krajinný ráz je od základu přetvořen. Sídlní útvary nad uhelnou slojí musí obyvatelstvo opustit a tyto sídla jsou posléze bourána. Nejznámější příklad z minulosti je zničení historického centra města Most, kdy byl zachráněn pouze kostel (Štýs a Helešicová, 1992).

Povrchovou těžbou je velmi ovlivněno celé prostředí. Povrchová těžba zvýrazňuje prostorovou a výškovou členitost terénu, je příčinou geneticko-morfologických procesů a vytváří kontrast konvexních a konkávních reliéfů. Tím se mění hydrogeologická situace v okolí lomů. Hrozí nebezpečí vysušování okolí, jsou narušeny zvodněné horizonty a dochází ke stáhnutí podzemních vod do důlního díla (Blažková, 2011; Štýs, 1981). Krajina je uměle odvodňována drenážemi a dělají se přeložky vodotečí. Je zde i riziko kontaminace podzemních vod vadami důlními. Díky geomorfologickým změnám může dojít ke změně mikro-mezoklimatu. Pedosféra je odstraněna na celé ploše lomu a dochází k její degradaci. V celém dobývacím prostoru také dochází k přímé destrukci biosféry, nepřímé vlivy povrchové těžby nelze přímo kvantifikovat, ale nelze ani ignorovat vliv skrze ostatní složky ekosystému. Dalšími negativní vlivy je znečištění ovzduší, např. ze zahoření uhlí či hluk způsobený pracovními stroji a nebo trhacími pracemi (Štýs, 1981).

Je zřejmé, že při těžbě dochází k degradaci i devastaci přírodního prostředí (Bradshaw, 1997). V lokalitě těžby jsou zasaženy všechny přírodní složky (Štýs, 1981, Dimitrovský, 2001). K minimalizaci důsledků důlní činnosti se provádí rekultivace zasaženého území, aby po skončení těžby bylo možné navrátit tyto lokality do podoby, v které by mohly být opět využívány lidskou společností (Štýs, 1981).

3.2. Rekultivace

Celková rozloha výsypek v české republice po těžbě uhlí je odhadována přibližně na 270 km². Pokud bychom připočítali zbytkové jámy a všechny další zasažené plochy, dá se předpokládat, že plocha by byla dvojnásobná. Počet výsypek v ČR se odhaduje přibližně na 70.

Štýs (1981) dělí základní způsoby rekultivace: Zemědělská, lesnická a vodní (hydrická) a ostatní, kam patří rekreační plochy, složeníště, staveniště, manipulační plochy atp. V poslední době probíhá intenzivní odborná debata o

začlenění nerekulтивovaných ploch, které postupně zarůstají spontánní sukcesí do systému rekultivací (Řehounek a kol., 2010). Cena technologické lesnické rekultivace se pohybuje od 0,5 mil. Kč/ha na Sokolovsku až k 1,5 mil. Kč/ha na Mostecku (Řehounek a kol., 2010).

V letech 1991 – 1992 byla z iniciativy Ministerstva životního prostředí zpracována první koncepce obnovy ucelených těžebních lokalit. Dořešení koncepce se zahrnutím širokého okolí ovlivněného těžbou byl až dlouhodobý generel rekultivace v roce 1992 (Pecharová a kol., 2009).

Tvorba nové krajiny v těžebních oblastech je komplexním problémem, neboť kromě aspektů environmentálních zahrnuje i řadu společenských a ekonomických problémů (Routa in ČZU, 2008).

3.3. Sukcese

Ekologická sukcese je proces, kdy ekologické společenstvo po disturbanci prochází sérií více či méně predikovatelných změn, které vedou k vzniku nového společenstva. Společenstva v určitých klimatických a pedologických podmínkách spějí k obdobnému typu stanoviště, které nazýváme klimax (Clements 1916, Begon a kol., 2006).

Někteří autoři člení sukcesi primární a sekundární (van Andel a Aronson, 2006). Primární sukcese je proces ekosystémového rozvoje na nově vzniklých nebo devastovaných místech, které pozbývají rozvinuté půdy, která byly disturbancí zcela zničeny. Primární sukcese tedy zahrnuje celkový rozvoj ekosystému. Počátkem je invaze druhů na nově vzniklé lokality a zahrnuje rozvoj všech základních interakcí mezi biotou a abiotickým prostředím (Walker a del Moral, 2003).

Sekundární sukcese, probíhá po disturbancích menší intensity, kdy zůstává zachována půda a často na místě přežívá řada druhů původního

společenstva. Probíhá proto výrazně rychleji než sukcese primární. Nastává po velkých disturbancích ploch, nikoliv však celkových devastacích (např. po požáru). Na lokalitě jsou pouze obnovována předešlá společenstva, neboť zde přetrvává různá společenstva živočichů (např. v latentním stavu) a zůstala zde zásoba diaspor rostlin či jejich vegetativní orgány (Jakrlová a Pelikán, 1999).

Postup sukcese dělíme na šest základních řídicích kroků primární sukcese: disturbance, migrace, uchycení, kompetice, reakce (reakce abiotického prostředí na působení biologické složky ekosystému) a stabilizace (Stabilizace konečného ekosystému) (Walker a del Moral, 2003).

- Disturbance má za následek zničení nebo rozsáhlé poškození původního ekosystému anebo vytvoření zcela nových ploch pro osídlení (Walker a del Moral, 2003).
- Migrací je označen příchod nových organismů na lokalitu, které nově kolonizují disturbované místo.
- Uchycení je podmíněno vhodností lokality pro migrující organismy, hlavní v této fázi je vliv abiotických faktorů.
- Po uchycení jedinců, kteří jsou schopni na lokalitě přežít, nastávají interakce mezi těmito druhy. Kompetice zahrnuje soupeření o dostupné zdroje (Clewel a Aronson, 2009).
- Reakce je změnou původních abiotických podmínek na základně vlivu uchycené bioty. Mění se tak vlastnosti stanoviště, které lokalitu charakterizovali před první vlnou migrace (chemismus, vodní režim...). Díky této fázi je možné uchycení pozdně sukcesních druhů ve stále pokračující migraci.
- Stabilizace je vytvoření rovnováhy mezi pozdně sukcesními druhy a vlastním stanovištěm a uzavřením koloběhu živin a energií, tato konečná fáze je idealizována v podobě klimaxu (Walker a del Moral, 2003).

3.4. Primární produkce

Primární produkci chápeme produkci primárních producentů daného ekosystému. Rozlišujeme čistou a hrubou primární produkci. Čistá primární produkce je rovna veškerému objemu hmoty vyprodukovaného v daném ekosystému fotosyntézou, zahrnuje tedy i tu část fotosyntézy, která byla využita na respiraci rostlin. V praxi primární produkci měříme zpravidla tak, že k hodnotám hrubé produkce přičteme empiricky změřené hodnoty respirace. Hrubá produkce je nejčastěji měřenou mírou primární produkce a zahrnuje kumulativní nárůst biomasy rostliny. A to včetně biomasy spotřebované dekompozitory a vyššími trofickými úrovněmi, i když tato část balance se často opomíjí (Begon a kol., 2006)

Měření primární produkce je důležité z řady důvodů. Primární produkce tvoří energetickou základnu pro všechny procesy v ekosystému. Je mírou jeho vývoje během sukcese a je klíčová při posouzení role ekosystémů v globálních klimatických změnách (Zianis a Mencuccini, 2004).

Pro měření primární produkce existují jednak metody přímo založené na inventuře biomasy daného ekosystému, jednak metody nepřímé založené např. na výměně plynů mezi ekosystémem a atmosférou (eddy covariance) anebo na korelaci biomasy s odrazivostí v různých vlnových délkách, což se hojně využívá při dálkovém průzkumu země (Fahey a Knapp, 2007). Při měření biomasy bylinného patra se nejčastěji používá sklizňová metoda založená na sklizni a vážení vzorku bylinné biomasy plochy. Při studiu dřevin a jiných dlouhověkých rostlin se používá inventura jedinců, jejichž biomasa se odhadne pomocí vhodných indikátorů. Zpravidla na základě korelace mezi hmotností a vybranými rozměry, tedy pomocí tzv. alometrických funkcí (Fahey a Knapp, 2007). Časový průběh sukcese je poté možné sledovat metodou vzájemného porovnání různě starých stadií sukcesně na sebe navazujících ploch (Prach, 1994, Clewell a Aronson, 2009).

4. Metodika

4.1. *Popis zájmového území*

Výzkum probíhal v západních Čechách, přibližně 8 km na severozápad od města Sokolov, na Podkrušnohorské výsypce. Ta vznikala od 70. let minulého století a byla dosypána v roce 2002. Je tvořena převážně alkalickými jílovcí třetihorního stáří. Nadmořská výška výsypky je 500–600m n.m., průměrné roční srážky jsou 650mm, a průměrná roční teplota 6.8 °C (Helingerová a kol., 2010). Výsypka, tak jak postupně vznikala, byla i postupně rekultivována. Lze zde najít i plochy, které rekultivovány nebyly. Vznikla tak pestrá mozaika ploch různého stáří porostlých různými druhy dřevin (Frouz a kol., 2008, 2009). Starší plochy pak byly nalezeny na sousedních výsypkách, Smolnické a Rízl. Tyto plochy vznikly v 60. letech minulého století použitím obdobných technologií a obdobného substrátu jako Podkrušnohorský výsypka.

Měření probíhalo na celkově deseti lokalitách s obdobnými klimatickými a výchozími pedologickými vlastnostmi. Soubor studijních ploch tvořil dvě chronosequence, kdy každá byla zastoupena pěti lokalitami ve stáří 5 – 45 let. První chronosequence charakterizovala vývoj rekultivovaného lesního porostu tvořeného Olší lepkavou s příměsí Olše šedé, druhá pak spontánní lesní porost Vrby jívy s příměsí Topolu osiky a Břízy bělokoré.

Na obou typech ploch probíhal vývoj půd samovolně bez navážky ornice nebo jiných materiálů. Povrch rekultivovaných plochy byl před vysazením stromů urovnán pomocí těžké zemní techniky. Po výsadbě byl porost v průběhu vývoje obhospodařován klasickými lesnickými metodami zahrnující zejména probírku a prořezávku porostu. Nerekultivované lokality jsou charakteristické vlnitým terénem, který vznikl při nasypávání skrývkového materiálu na výsypku pásovým zakladačem. Rovnoběžné terénní vlny, v průměru metr vysoké se vzdáleností vrcholů 4-8 metrů, již nebyly po nasypání dále upravovány a plochy byly ponechány samovolným sukcesním pochodům (Frouz a kol., 2007). Stáří ploch je udáváno jako doba od poslední velké celoplošné disturbance, tou bylo

u spontánních ploch nasypání u ploch rekultivovaných pak urovnání před výsadbou.

Nerekultivované studijní plochy:

- E – nasypáno: 2005

Spontánně zarostlá plocha, ve vegetaci se vyskytuje převážně Podběl lékařský (*Tussilago farfara*). Celková pokryvnost bylinného patra je přibližně 25%. Stromové patro není vyvinuto.

GPS, 50.14.443 N / 12.39.559 E

- SI – nasypáno: 1993

Spontánně zarostlá plocha Vrbou jívou (*Salix caprea*), ve vegetaci dominuje Třtina křovištní (*Calamagrostis epigejos*) a Podběl lékařský (*Tussilago farfara*). Celková pokryvnost bylinného patra je přibližně 20%. Stromové patro není vyvinuto.

GPS, 50.14.538 N / 12.40.528 E

- SII – nasypané 1988

Plocha spontánně zarostlá Vrbou jívou (*Salix caprea*), Topolem osikou (*Populus tremola*) a Břízou bělokorou (*Betula pendula*). Podrost je dominován Lipnicí luční (*Poa pratensis*), Lipnicí hajní (*Poa nemoralis*) a Třtinou křovištní (*Calamagrostis epigejos*). Celková pokryvnost bylinného patra je přibližně 20%.

GPS, 50.14.467 N / 12.40.758 E

- SIII – nasypané 1982

Plocha spontánně zarostlá Vrbou jívou (*Salix caprea*), Topolem osikou (*Populus tremola*) a Břízou bělokorou (*Betula pendula*). Podrost je dominován Lipnicí luční (*Poa pratensis*), Lipnicí hajní (*Poa nemoralis*) a Třtinou křovištní (*Calamagrostis epigejos*). Celková pokryvnost bylinného patra je přibližně 20%.

GPS, 50.14.265 N / 12.40.325 E

- V - nasypané 1965

Plocha spontánně zarostlá Vrbou jívou (*Salix caprea*), Topolem osikou (*Populus tremola*) a Břizou bělokorou (*Betula pendula*). Podrost je dominován Lipnicí luční (*Poa pratensis*), Lipnicí hajní (*Poa nemoralis*) a Třtinou křovištní (*Calamagrostis epigejos*). Celková pokryvnost bylinného patra je přibližně 90%.

GPS, 50°14.698 N/ 12°36.525 E

Rekultivované studijní plochy:

- Ema - rekultivováno 2005

Smíšený porost Olše lepkavé (*Alnus glutinosa*) a Olše šedé (*Alnus incana*). Podrost je tvořen převážně Třtinou křovištní (*Calamagrostis epigejos*). Celková pokryvnost bylinného patra je blízká 100%.

GPS, 50.13.931 N / 12.39.182 E

- K - rekultivováno 1993

Smíšený porost Olše lepkavé (*Alnus glutinosa*) a Olše šedé (*Alnus incana*). Podrost je tvořen převážně Třtinou křovištní (*Calamagrostis epigejos*). Celková pokryvnost bylinného patra je blízká 100%.

GPS, 50.14.625 N / 12.42.625 E

- A1 - rekultivováno 1988

Smíšený porost Olše lepkavé (*Alnus glutinosa*) a Olše šedé (*Alnus incana*). Podrost je tvořen převážně Třtinou křovištní (*Calamagrostis epigejos*). Celková pokryvnost bylinného patra je blízká 100%.

GPS, 50.14.167 N / 12.40.751 E

- A2 - rekultivováno 1982

Smíšený porost Olše lepkavé (*Alnus glutinosa*) a Olše šedé (*Alnus incana*). Podrost je tvořen převážně Třtinou křovištní (*Calamagrostis epigejos*). Celková pokryvnost bylinného patra je blízká 100%.

GPS, 50.14.496 N / 12.42.209 E

- Ro - rekultivováno: 1965

Smíšený porost Olše lepkavé (*Alnus glutinosa*) a Olše šedé (*Alnus incana*). Podrost je tvořen převážně Ostružníkem křovitým (*Rubus fruticosus*). Celková pokryvnost keřového patra je přibližně 10%.

GPS, 50°11.318 N/ 12°38.038 E

(Frouz a kol., 2009, Cejpek, 2011)

4.2. Terénní práce a zpracování vzorků

Na jednotlivých lokalitách byla provedena kvantifikace rostlinné biomasy. V rámci každé lokality s reprezentativním porostem byl náhodně určen střed kruhu o poloměru 8m. Na této studijní ploše (201m²) posléze probíhala všechna měření. Každá studijní plocha byla umístěna tak, aby její okraj byl minimálně v desetimetrové vzdálenosti od okraje souvislého zápoje porostu na lokalitě. Na ploše byla provedena inventarizace a měření stromového porostu, měření biomasy bylinného patra a biomasy jemných kořenů, biomasa kosterních kořenů dřevin byla odhadnuta pomocí alometrických funkcí vztahených k nadzemní biomase dřevin. Pro odhad nadzemní a podzemní biomasy dřevin byly použity jednak alometrické rovnice převzaté z literatury (citace), jednak byly na základě destruktivní analýzy hlavních stromových druhů na zkoumaných lokalitách vypracovány vlastní alometrické rovnice.

4.2.1. Inventarizace dřevin

U všech stromů byl změřen průměr ve výčetní výšce 130 cm, tzv. diameter breast high (dále „DBH“), pomocí lesnické průměrky (Haglöf Mantax 102 cm) a výška stromů pomocí laserového dálkoměru (Nikon Forestry 550). Z těchto údajů byla u stromů s DBH od 2cm, na základě alometrických rovnic, spočtena celková biomasa stromového patra na lokalitě. Zároveň byla,

pásmem, změřena délka všech mrtvých kmenů ležících na povrchu půdy a lesnickou průměrkou jejich průměr na obou koncích. Testováním pomocí General Liner Models bylo určeno, které jednotlivé části měření celkové biomasy lokality jsou ovlivněny věkem porostu a zda-li jsou významně závislé na způsobu obnovy.

4.2.2. Destruktivní vzorkování dřevin

Pro výpočet alometrických rovnic a zjištění proporcí jednotlivých částí dřevin na celkové biomase proběhla destruktivní analýza (dále DA). Vzorkovány byly hlavní druhy rostoucí na zkoumaných lokalitách – Topol osika, Vrba jíva a Olše lepkavá. Pro vzorkování byly vybrány stromy v sousedství ploch určených ke studiu biomasy porostů tak, aby vybrané stromy pokrývaly velikostní rozsah stromů na sledovaných plochách a aby měli co nejpodobnější podmínky, zejména obdobné zapojení porostu. Plochy určené pro DA byly vybrány v blízkosti spontánních a rekultivovaných ploch popsanych výše, nejméně však 100 metrů od těchto ploch, tak aby nedošlo k poškození a ovlivnění inventarizačních ploch. Před skácením byl u jednotlivých stromů změřen průměr ve výčetní výšce a výška stromů pomocí laserového dálkoměru. Po skácení byla výška stromu zkontrolována pomocí pásma, přičemž rozdíl hodnot byl pod 2% celkové délky, v řádu několika cm. U polykormonů byly měřeny všechny kmeny, které měly ve výčetní tloušťce DBH nad 2cm. Následně byly stromy pokáceny, rozřezány na kmen a větve a obojí bylo podle potřeby rozděleno do několika porcí a po částech zváženo pomocí závěsných vah (Waymaster 69-1050) s přesností 200g. Za větev byl považován i vrchol kmene o průměru pod 1 cm. Následně byly otrhány listy u vzorku větví, který představoval alespoň 20% celkové hmotnosti všech větví nejméně však 1 kg (tam kde bylo větví méně, byly použity všechny) a listy a holé větve byly zváženy na přenosných vahách Kern s přesností 0,01g. Kořeny včetně pařezu vysokého 2-3 cm byly vykopány pomocí bagru a ručního kopání. Byly vybrány všechny kořeny o průměru nad 5mm, které se podařilo vykopat, tyto byly zbaveny hlíny a zváženy na závěsných vahách obdobně jako kmen a větve. Listy byly promíchány a byl

odvážen vzorek o hmotnosti 100-300g, u dřevitých částí bylo z každého stromu odebráno pomocí motorové pily nebo zahradních nůžek 5 vzorků tak, aby kryly reprezentativně všechny kategorie průměrů daných částí (kmene, větví i kořenů). Tyto vzorky byly sušeny při 80°C po dobu 5 dní do stabilní hmotnosti a zváženy pro stanovení sušiny. Na základě této analýzy byly stanoveny suché hmotnosti jednotlivých vzorkovaných stromů, keřů a jejich součástí a posléze sestaveny vlastní alometrické rovnice pro výpočet stromové biomasy, jejichž výsledky byly konfrontovány s převzatými rovnicemi od ostatních autorů. Navíc byla získána data pro určení biomasy kořenového systému.

U jedinců, s průměrem kmene v DBH menším než 2 cm (dále „podmírové“), které nejsou zahrnuty do alometrických výpočtů kalkulujících na základě průměru kmene, z důvodu zanesení větší chyby, byla měřena pouze výška. Výpočet biomasy podmírových jedinců byl uskutečněn na základě vlastní analýzy závislosti hmotnosti biomasy na výšce jedince. Na lokalitách bylo odebráno celkově 30 jedinců Vrby jívy a Olše lepkavé s DBH nižším než 2 cm v rovnoměrně rozložené výškové škále. Jednotlivé vzorky byly změřeny, usušeny do stabilní hmotnosti při 80°C a za suchého stavu zváženy. Z těchto údajů byla poté odvozena závislost biomasy na výšce podmírových jedinců, podle které byla vypočítána biomasa všech jedinců s DBH menším než 2 cm na studijních plochách.

Z výstupních rovnic destruktivní analýzy byla vypočtena biomasa stromů na lokalitách a přepočtena na 1ha plochy reprezentativního porostu. Ze závislosti $Y = s * (1 - e^{-b * x^2})$ /s, b = parametry f-ce (tabulka č. 6)/, která byla vybrána z důvodu nejvyšší modelové determinace, byly poté vytvořeny modely pro jednotlivé chronologické řady porostních typů. Pro zjednodušení je chronosekvence sukcesního porostu značena jako „Jíva“, chronosekvence rekultivovaného porostu jako „Olše“, podle převládajícího druhu stromu rostoucího na lokalitě.

4.2.3. Nadzemní biomasa bylin

Biomasa bylinného patra byla určena na základě vzorkování v měsíci srpnu, v době největšího rozvoje. Byla odebrána všechna bylinná biomasa z celkem šesti čtverců 0,3m x 0,3m, náhodně vybraných na studijní ploše. Na nerekultivovaných plochách byla podmínka vzhledem k členitému reliéfu, aby výsledný sběr obsahoval 2 vzorky z vrcholu vlny, 2 vzorky z deprese mezi vlnami a 2 vzorky z ramene vlny. Vzorky byly poté sušeny do stabilní hmotnosti při 80°C a váženy. Výsledky byly poté přepočítány na celkovou sušinu biomasy bylinného patra jednotlivých ploch.

4.2.4. Biomasa jemných kořenů

Pro vzorkování kořenů bylo použito půdní sondy ve tvaru válce o průměru 5,6 cm a v délce 15cm. Bylo odebráno 6 půdních vzorků z každé lokality. Na nerekultivovaných plochách byly vzhledem k členitému reliéfu použity 2 vzorky z vrcholu vlny, 2 vzorky z deprese mezi vlnami a 2 vzorky z ramene vlny. Z těchto půdních vzorků byly vyselektovány kořeny, menší než 5mm v průměru, odplavením půdy na promývacích sítích. Kořeny byly rozděleny na bylinné a dřevité, sušeny do stabilní hmotnosti při 80°C a váženy. Výsledky byly poté přepočteny na celkovou sušinu kořenů jednotlivých ploch.

4.2.5. Množství listového opadu

V letních měsících byly na plochu umístěny opadoměry, vyvýšené čtvercové konstrukce 0,5m x 0,5m se sběrnou sítí. Ty byly po celkovém opadu listů ke konci listopadu vybrány, listy byly sušeny do stabilní hmotnosti při 80°C a váženy. Výsledky byly poté přepočítány na celkovou sušinu listů jednotlivých ploch.

Nakonec proběhl na studijních plochách odběr fermentačního (F) a humifikačního (H) půdního horizontu. Vzorkováno bylo šest čtverců 0,3m x 0,3m, náhodně vybraných na studijní ploše. Na nerekulitovaných plochách byla podmínka vzhledem k členitému reliéfu, aby výsledný sběr obsahoval 2 vzorky z vrcholu vlny, 2 vzorky z deprese mezi vlnami a 2 vzorky z ramene vlny. Vzorky byly poté sušeny do stabilní hmotnosti při 80°C a váženy. Výsledky byly poté přepočítány na celkovou sušinu F + H půdního horizontu jednotlivých ploch.

4.2.6. Zpracování dat a jejich statistická analýza

Pro aproximaci vlastních alometrických funkcí byla použita data o celkové biomase nadzemních částí dřevin a ta byla vysvětlována pomocí DBH a výšky stromu a jejich kombinací v programu Statistica 10.0. Výsledný model byl zvolen podle nejlepší míry vysvětlení dat s použitím co nejméně parametrů. Pro biomasu kořene byl použit poměr mezi biomasou nadzemní části a kořene, přičemž bylo ověřeno, že se tento poměr statisticky významně neliší s velikostí stromu. Tého postup umožnil lepší porovnání s literárními daty, protože souběžné údaje o nadzemní a podzemní biomase jsou v literatuře vzácné.

Celkový objem sušiny biomasy na lokalitě byl tedy určen jako suma biomasy stromů včetně kořenové části (údaje biomasy listí určených opadoměry byly porovnávány s daty z DA), biomasy bylinného patra, biomasy mikrokořenů v půdě do 15cm hloubky a F+ H půdního horizontu. Pokud bylo na studijní ploše nalezeno padlé dřevo, zejména odumřelé kmeny, byl obsah sušiny tohoto objektu spočten jako objem komolého kužele násoben hustotou daného živého dřeva. Celková biomasa rekulitovaných a nerekulitovaných ploch a vliv věku na přírůstek celkové biomasy a jednotlivých kompartmentů byly porovnány pomocí Generálních lineárních modelů v programu Statistica 10.0.

5. Výsledky

5.1. Destruktivní analýza dřevin a stanovení alometrických rovnic

Celkovou biomasu stromů použitých pro destruktivní analýzu, jakož i biomasu jednotlivých částí těchto stromů a jejich základní morfometrické parametry zobrazuje tabulka č. 1.

Tabulka 1: Biomasa destruktivně vzorkovaných stromů a jejich částí, výška a průměr kmene těchto stromů.

Topol osika

kmen	průměry všech kmenů u polykormonu (cm)						výška (m)	sušina kmen (kg)	sušina větve (kg)	sušina listí (kg)	sušina kořen (kg)	celkem sušina (kg)
3,5	3,5						5,3	1,96	5,3	1,96	0,51	3,26
4	4						6,8	3,19	6,8	3,19	2,3	6,73
7	7						10,4	9,61	10,4	9,61	3,32	16,07
10	10						10	17,95	10	17,95	4,85	33,47
12	12						10,1	26,92	10,1	26,92	9,13	54,47
14	14						10,2	33,96	10,2	33,96	15,91	63,21
22	22						21	203,05	21	203,05	65,61	342,18

Vrba jíva

kmen	průměry všech kmenů u polykormonu (cm)							výška (m)	sušina kmen (kg)	sušina větve (kg)	sušina listí (kg)	sušina kořen (kg)	celkem sušina (kg)
3	3							4,5	1,93	4,5	1,93	1,28	6,01
4	4	3	3,5	4				4,3	3,59	4,3	3,59	1,7	11,1
5	5	4	2,5					4	4,89	4	4,89	1,99	12,9
6	6	5,5	2,5					6,6	12,38	6,6	12,38	3,65	25,81
8	8	5,5	4,5	3	5,5	7,5		5,4	22,32	5,4	22,32	10,77	52,78
9	9	4	5,5	3	3,5			5,6	17,21	5,6	17,21	5,15	46,24

Olše lepkavá

kmen	průměry všech kmenů u polykormonu (cm)						výška (m)	sušina kmen (kg)	sušina větve (kg)	sušina listí (kg)	sušina kořen (kg)	celkem sušina (kg)
1,5	1,5	1					2,3	0,34	2,3	0,34	0,21	0,92
2	2						3,4	0,47	3,4	0,47	0,16	0,7
3,5	3,5						5,2	1,2	5,2	1,2	0,35	1,92
6,5	6,5						6,4	4,82	6,4	4,82	1,63	8,74
8	8						7,2	7,86	7,2	7,86	4,65	16,07
12	12						7,1	20,48	7,1	20,48	9,71	44,18

Tabulka č. 2 znázorňuje procentuální obsah vody v jednotlivých částech vzorkovaný stromů při pokácení. Obsah vody ve vzorcích byl v průměru 49,4 hm.% u Topolu osiky, 48,5 hm.% u Vrby jívy a 59,8 hm.% u Olše lepkavé. Je zde patrný vyšší obsah vody v kořenových částech všech analyzovaných vzorků. U vzorků Olše Lepkavé je výrazně vyšší podíl obsahu vody ve dřevě. Tento rozdíl činí více jak 10% v celkovém obsahu vody než ve vzorcích Topolu osiky a Vrby jívy. Vzorky kmenů, větví a kořenů v celém souboru vykazovaly vyrovnaný podíl obsahu vody ve dřevě se směrodatnou odchylkou do 5% celého souboru. Pouze listová část stromů měla vyšší variabilitu.

Tabulka 2: Procentuální podíl vody na celkové hmotnosti v čerstvém stavu v jednotlivých částech stromu.

Topol osika

kmen	průměr kmenů polykormonu (cm)						výška (m)	kmen (%)	větve (%)	listí (%)	kořen (%)
3,5	3,5						5,3	48,35	41,58	23,21	57,54
4	4						6,8	45,06	45,32	61,94	54,89
7	7						10,4	45,08	43,51	59,98	58,77
10	10						10	46,58	53,93	24,85	64,99
12	12						10,1	42,1	48,05	53	49,97
14	14						10,2	48,85	50,68	52,91	58,68
22	22						21	46,48	48,39	51,87	56,35
průměr								46,07	47,35	46,82	57,31
sd								2,11	3,93	14,85	4,2

Vrba jíva

kmen	průměry kmenů polykormonu (cm)						výška (m)	kmen (%)	větve (%)	listí (%)	kořen (%)
3	3						4,5	39,66	50,01	24,39	62,96
4	4	3	3,5	4			4,3	47,62	53,01	20,16	68,79
5	4	5	2,5				4	46,31	44,89	18,33	70,59
6	5,5	6	2,5				6,6	45,59	52,66	47,44	66,03
8	5,5	5,5	4,5	3	8	7,5	5,4	44,76	46,91	45,69	61,32
9	3	4	5,5	9	3,5		5,6	46,06	49,27	48,3	63,89
průměr								45	49,46	34,05	65,6
sd								2,54	2,9	13,24	3,25

Olše lepkavá

kmen	průměry kmenů polykormonu (cm)						výška (m)	kmen (%)	větve (%)	listí (%)	kořen (%)
1,5	1,5	1					2,3	62,33	51,72	47,84	72,53
2	2						3,4	55,66	55,72	50,5	68,28
3,5	3,5						5,2	63,71	63,84	62,48	74,21
6,5	6,5						6,4	55,79	56,84	55,51	61,59
8	8						7,2	52,36	54,66	59,46	61,29
12	12						7,1	54,33	63,11	69,95	61,18
průměr								57,36	57,65	57,62	66,51
sd								4,17	4,41	7,41	5,45

Významný rozdíl je v lokalizaci biomasy v rámci jednotlivých částí stromu. Tabulka č. 3 ukazuje procentuální zastoupení jednotlivých částí nadzemní biomasy stromu. Zatímco Topol osika a Olše lepkavá mají největší část biomasy uloženou v kmeni (více než 2/3 celkové nadzemní biomasy), tak Vrba jíva má téměř rovnoměrně rozloženou biomasy mezi větvemi a kmenem.

Regresní analýza v rámci jednotlivých druhů nevykázala žádnou statisticky významnou závislost mezi procentuálním zastoupením jednotlivých částí stromu v závislosti na průměru kmene, tedy i věku stromu.

Tabulka 3: Procentuální zastoupení jednotlivých částí nadzemní biomasy.

Topol osika	kmen [%]	Větvě [%]	Listí [%]
3,5	71,27	19,64	9,09
4	72,01	23,93	4,06
7	75,37	19,84	4,78
10	62,72	25,58	11,71
12	59,37	31,56	9,06
14	71,8	20,87	7,34
22	73,42	19,51	7,08
průměr	69,42	22,99	7,59
sd	5,52	4,12	2,45

Vrba jíva	kmen [%]	Větvě [%]	Listí [%]
3	40,8	54,55	4,65
4	38,19	54,79	7,02
5	44,82	50,78	4,4
6	55,87	37,23	6,9
8	53,13	42,66	4,21
9	41,88	55,27	2,85
průměr	45,78	49,21	5,01
sd	6,51	6,9	1,5

Olše lepkavá	kmen [%]	Větvě [%]	Listí [%]
1,5	47,89	39,44	12,68
2	87,04	11,11	1,85
3,5	76,43	14,01	9,55
6,5	67,79	24,47	7,74
8	68,83	26,44	4,73
12	59,41	33,42	7,17
průměr	67,9	24,82	7,29
sd	12,33	9,96	3,43

Relativně vyrovnané je u všech třech souborů rozložení biomasy mezi nadzemní částí a kosterními kořeny, které tvoří okolo 20% (16,29% - 22,25%) celkové biomasy (Tabulka č. 4).

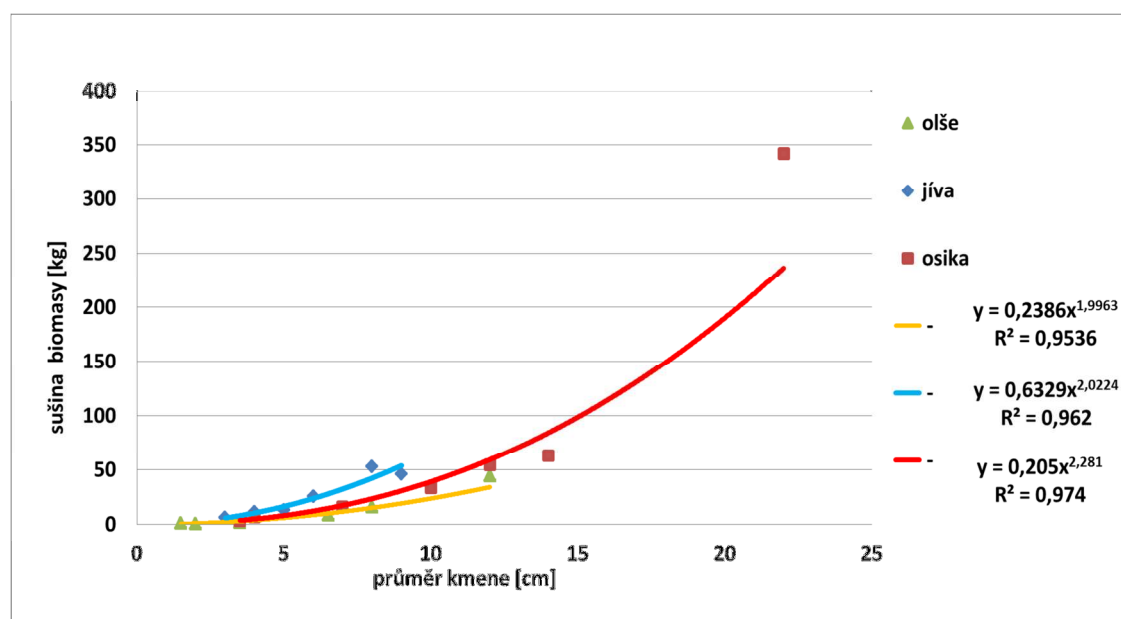
Tabulka 4: Procentuální zastoupení biomasy nadzemní části a kořene.

Topol osika	sušina biomasy nadzemní části [%]	sušina kořene [%]
3,5	84,35	15,64
4	65,82	34,18
7	79,34	20,66
10	85,51	14,49
12	83,24	16,76
14	74,83	25,17
22	80,83	19,17
průměr	79,13	20,87
sd	6,36	6,36

Vrba jíva	sušina biomasy nadzemní části [%]	sušina kořene [%]
3	78,7	21,3
4	84,69	15,32
5	84,58	15,43
6	85,86	14,14
8	79,59	20,41
9	88,86	11,14
průměr	83,71	16,29
sd	3,53	3,53

Olše lepkavá	sušina biomasy nadzemní části [%]	sušina kořene [%]
1,5	77,17	22,83
2	77,14	22,86
3,5	81,77	18,23
6,5	81,35	18,65
8	71,06	28,94
12	78,03	21,98
průměr	77,75	22,25
sd	3,53	3,53

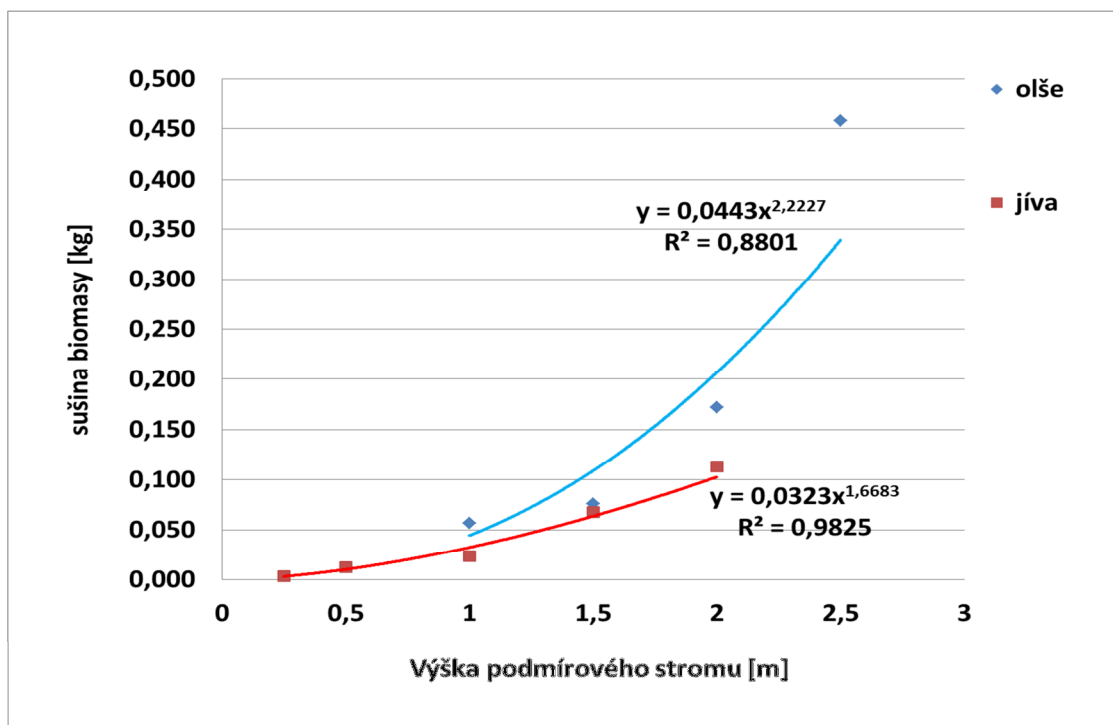
Ze vztahu průměru kmene (DBH) a celkové biomasy jednotlivých vzorků, obrázek č. 1, byly stanoveny rovnice pro výpočet biomasy jednotlivých druhů.



Obrázek 1: Celková biomasa sušiny jednotlivých druhů stromů dle průměru kmene .

Tyto rovnice (Obr. č. 1) byly použity pro výpočet stromové biomasy na jednotlivých lokalitách.

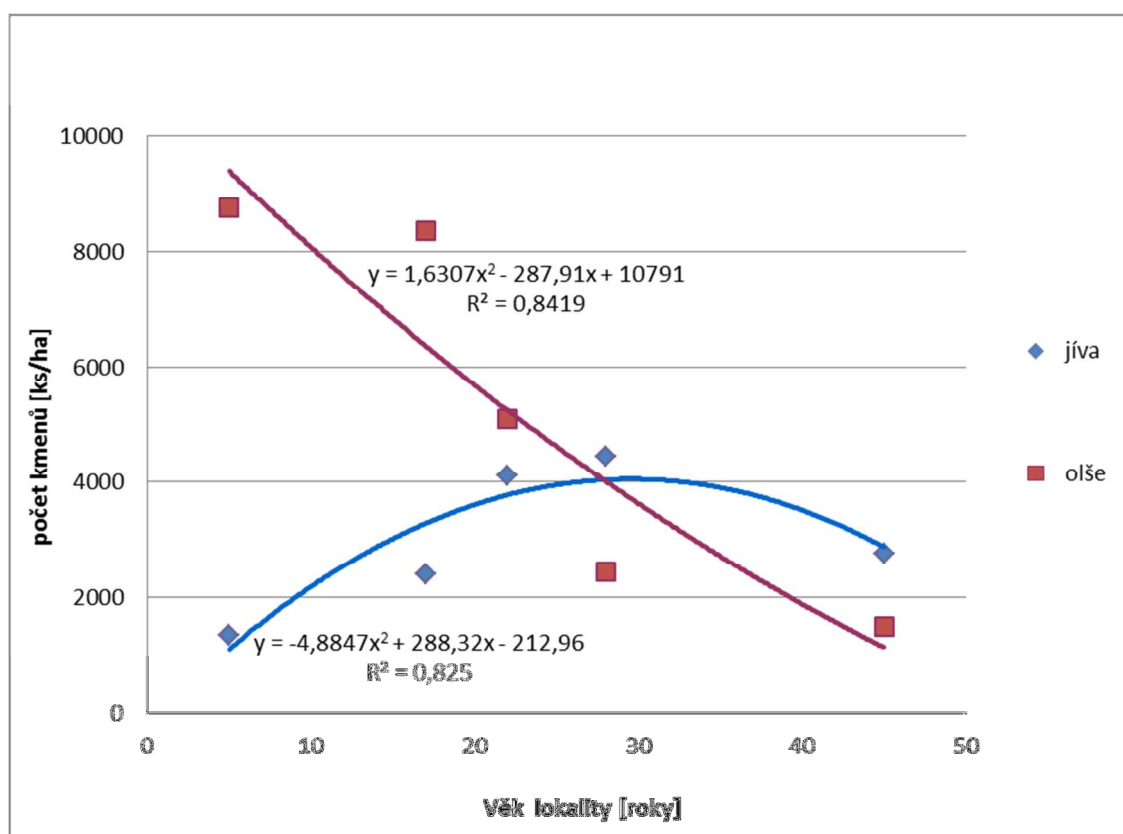
Pro stromky s DBH < 2cm, byl na základě destruktivní analýzy určen vztah mezi biomasou a výškou podmírových jedinců Vrby jívy a Olše lepkavé (obrázek č. 2).



Obrázek 2: Celková biomasa sušiny podmírových stromů Olše lepkavé a Vrby jívy dle výšky.

5.2. Charakteristika stromového porostu na rekultivovaných a nerektivovaných plochách

Stromový porost na rekultivovaných a sukcesních lokalitách je výrazně odlišný. Rekultivované lokality jsou charakteristické lesnickými zásahy, zejména výchovnou probírkou, která je důsledkem úbytku počtu jedinců na lokalitách. Na lokalitách spontánní sukcese je naopak charakteristický postupný nárůst počtu jedinců, kteří se na lokalitě postupně uchycují. A to až do doby rozpadu primárně sukcesního porostu Vrby Jívy mezi 30 – 40 rokem, kdy začne na lokalitě převládat Topol osika a Bříza bělokorá (obrázek č. 3).



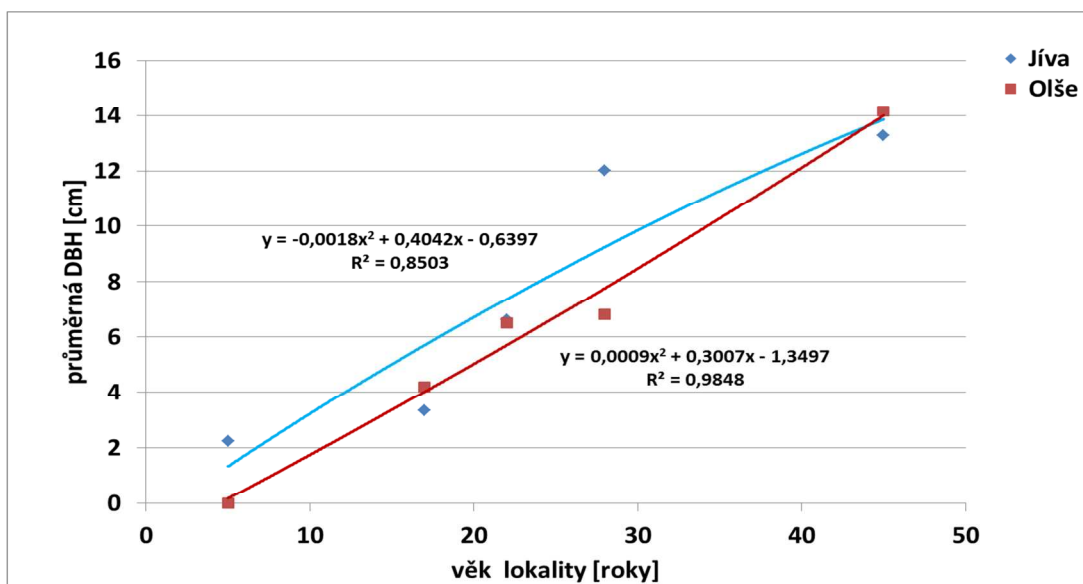
Obrázek 3: Vývoj počtu kmenů v čase na rekultivovaných a nerektivovaných lokalitách.

Rekultivovaný, lesnický obhospodařovaný porost, je udržován v jednokmenné podobě. Případné polykormony, které se na lokalitě objeví, jsou „dvojáky“ vzniklé poškozením stromku (např. okusem zvěře, omrznutím růstového vrcholu) a tyto jsou při následující probírce odstraněny. Sukcesní porost je mnohem více diverzifikován a vyskytují se zde jednokmenné stromy až polykormony se sedmi kmeny. S počátečním stárnutím porostu Vrby jívy narůstá průměrný počet kmenů v jednom polykormonu, který vrcholí okolo 25 roku. Poté pomalu klesá s postupným stárnutím porostu, rozpadem porostu jív a jejich nahrazováním Topolem osikou a Břízou bělokorou, které se nejčastěji vyskytují v jednokmenné podobě (tabulka č. 5).

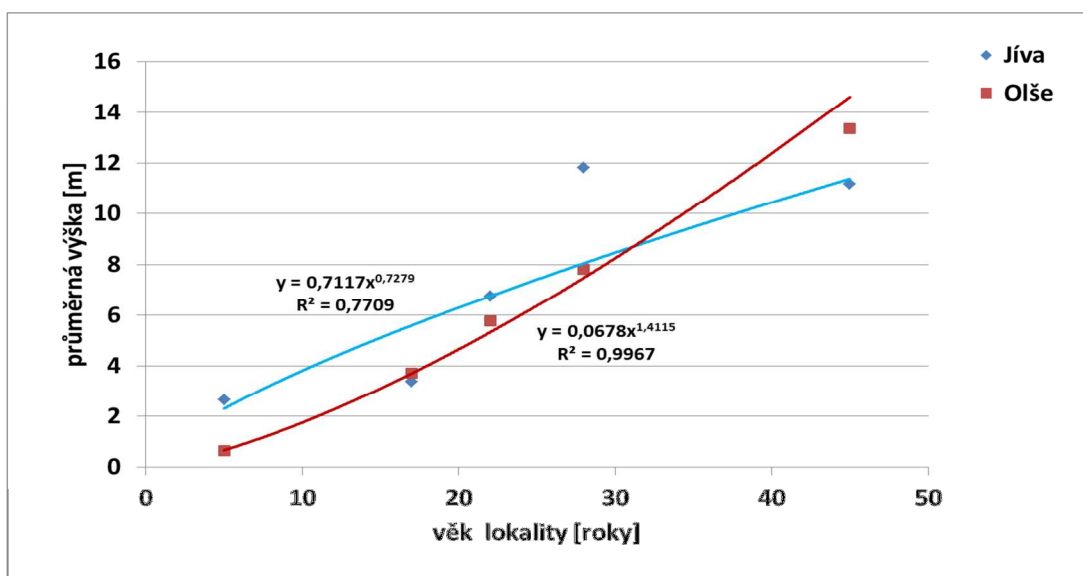
Tabulka 5: Vývoj zakmenění jednotlivých lokalit v čase.

	věk (roky)	počet polykormonů (ks/ha)	počet kmenů (ks/ha)	prům.počet kmenů na polykormon (ks)
Jíva	5	1350	1350	1,0
	17	2100	2400	1,1
	22	2450	4100	1,7
	28	3250	4450	1,4
	45	2550	2750	1,1
Olše	5	8700	8750	1,0
	17	7050	8350	1,2
	22	4350	5100	1,2
	28	2450	2450	1,0
	45	1500	1500	1,0

Pokud však porovnáváme chronosekvence z dendrometrického hlediska, tedy průměrnou hodnotu DBH stromů (obrázek č. 4) a průměrnou výšku stromů na lokalitě (obrázek č. 5), tak trendy vývoje DBH stromů jsou si velmi podobné a ačkoliv trend vývoje výšky stromového porostu naznačuje v průběhu času výškové přerůstání sukcesního porostu porostem rekultivovaným, není mezi modely statisticky významný rozdíl.



Obrázek 4 : Vývoj průměrné DBH kmenů v čase na rekultivovaných a nerektivovaných lokalitách.

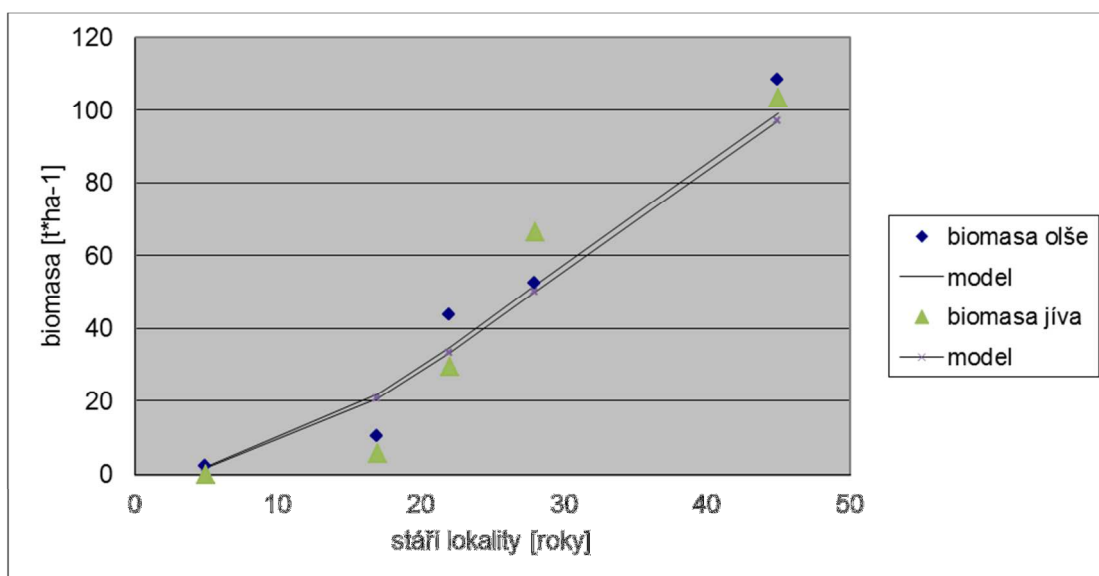


Obrázek 5 : Vývoj průměru výšky stromů v čase na rekultivovaných a nerektivovaných lokalitách.

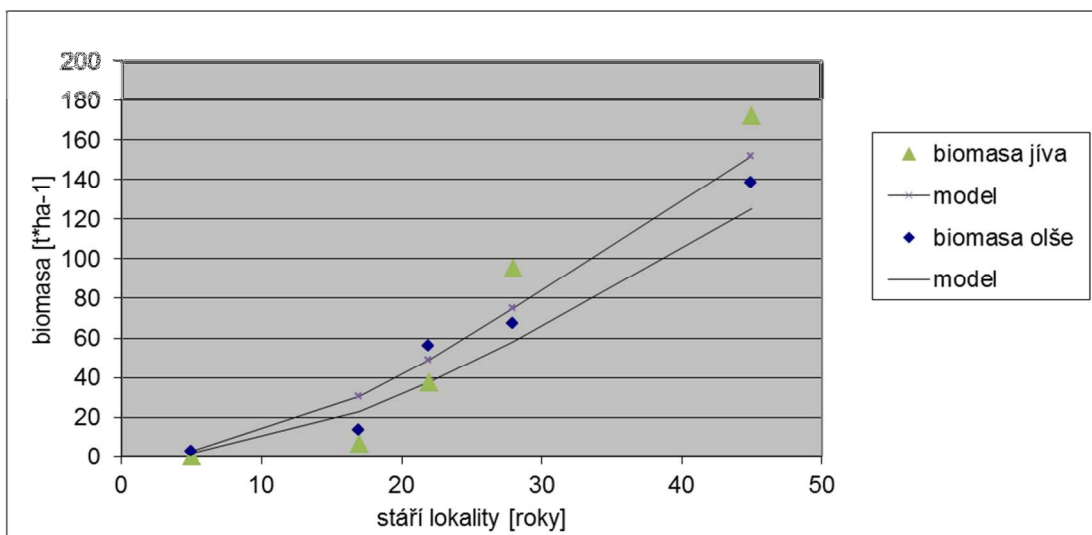
5.3. Rozvoj biomasy stromových porostů na rekultivovaných a nerektivovaných plochách

Modely vytvořené z destruktivních analýz, byly dále porovnávány s výsledky již dřívější studie, které proběhly na některých lokalitách (Cienciala, 2006). Pro porovnání porostů jívy byly použity rovnice pro vývoj nadzemní biomasy ze studie Cienciala, 2006 a pro rekultivované plochy Olše ze studie Johansson, 1999. Tyto studie se zabývaly pouze nadzemní biomasou stromového patra, pro kvantifikaci celkové dendromasy porostu byly použity údaje o procentuálním zastoupení kořenových částí z této práce (tabulka č. 4).

Modely na obrázcích č. 6 - 10 popisují vývoj nadzemní biomasy a celkové dendromasy s určitým zpožděním od ukončení těžby. U sukcesních ploch je to doba potřebná pro rozšíření diaspor a osídlení nových volných ploch, u ploch rekultivovaných je to doba mezi ukončením těžby a vlastní technickou rekultivací.



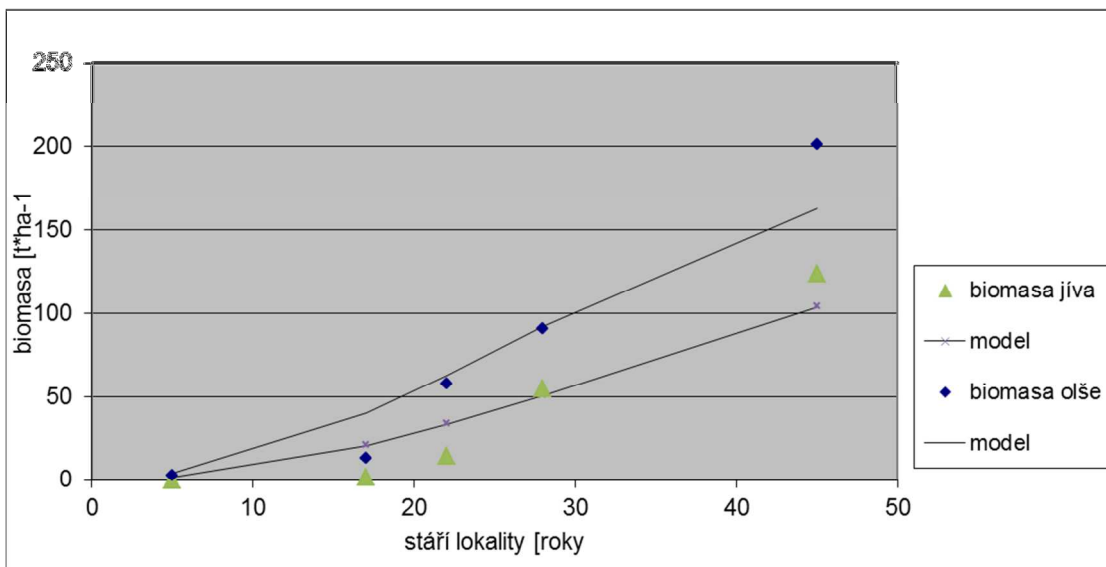
Obrázek 6: Vývoj nadzemní biomasy sušiny v chronosekvenci dle stáří lokality (DA).



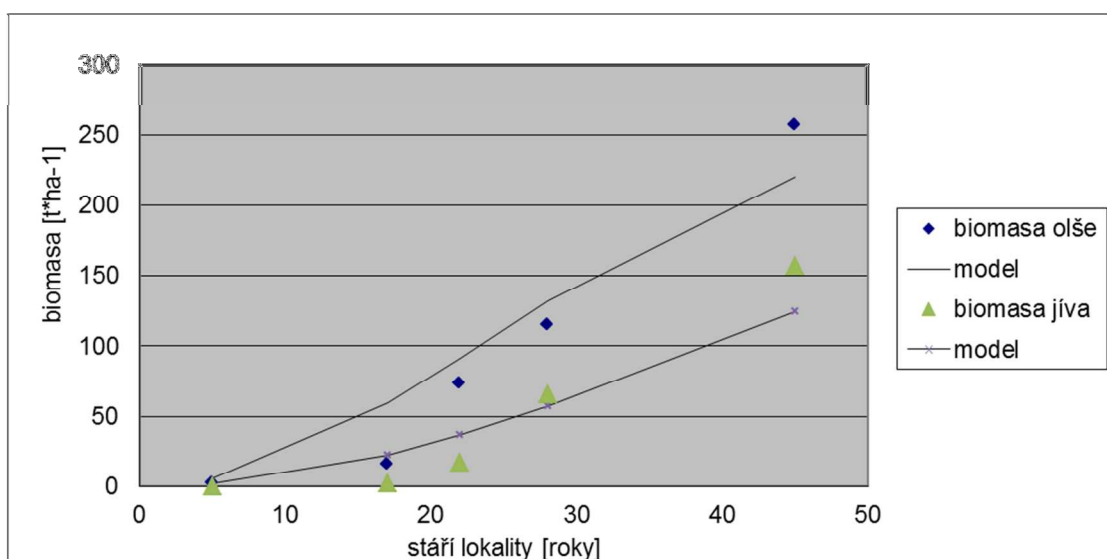
Obrázek 7: Vývoj celkové biomasy sušiny v chronosekvenci dle stáří lokality (DA).

Dle dat z destruktivní analýzy je vývoj nadzemní stromové biomasy u sukcesních a rekultivovaných ploch téměř shodný (obrázek č. 6). Po připočtení biomasy kořenů je z modelu (obrázek č. 7) patrné, že rozvoj celkové dendromasy je vyšší na nerektivovaných plochách se sukcesním porostem Vrby jívy.

Na obrázku č. 8 a č. 9 je stejné porovnání identických lokalit s použitím vztahů pro výpočet biomasy od jiných autorů (Cienciala, 2006, Johansson, 1999)



Obrázek 8: Vývoj nadzemní biomasy sušiny v chronosekvenci dle stáří lokality dle (Cienciala, Johansson).



Obrázek 9: Vývoj celkové biomasy sušiny v chronosekvenci dle stáří lokality dle (Cienciala, Joahnsson).

Při užití alometrickým rovnic popisující vývoj stromové biomasy převzatých od jiných autorů (Cienciala, 2006, Johansson, 1999) je zřejmá vyšší produkce nadzemní stromové biomasy i celkové dendromasy v rekultivovaných Olšových chronosekvencích.

Přehled parametrů pro modely na obrázcích č. 6 - 10 jsou uvedeny v tabulce č. ...

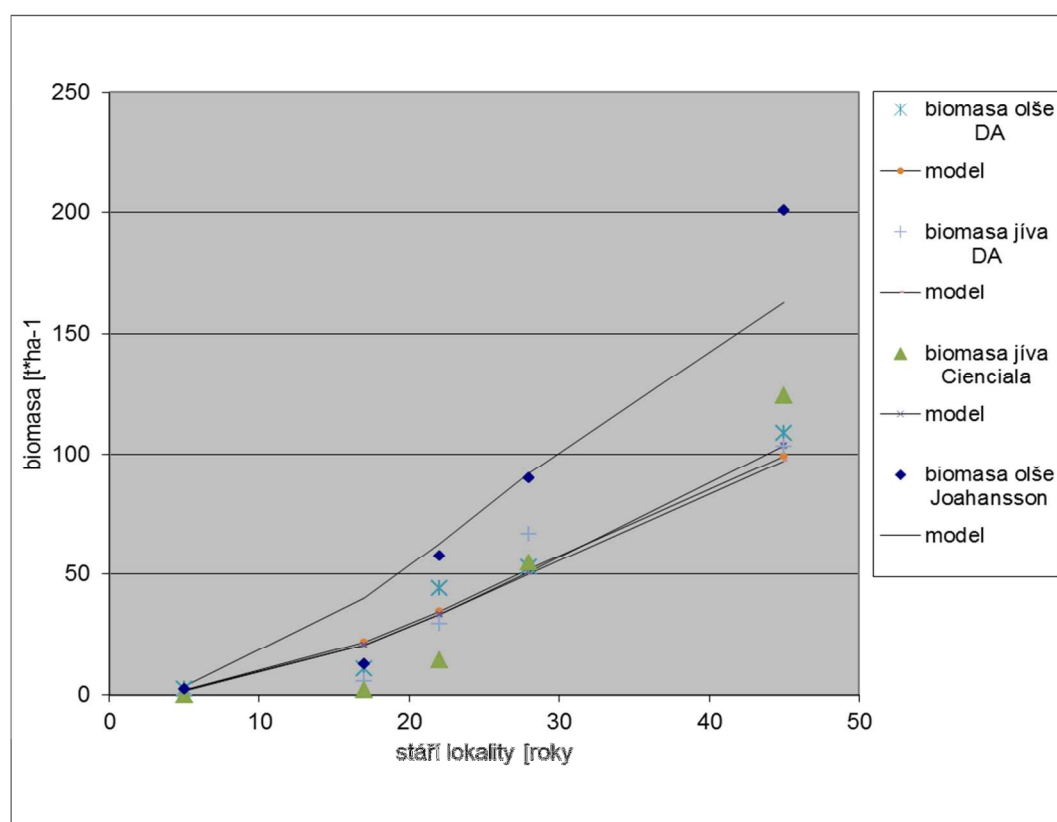
Tabulka 6: Parametry a koeficient determinace rovnice $Y = s * (1 - e^{-b * x^2})$ pro modely vývoje biomasy v čase.

	model	s	b	R ²
Jíva	nadzemní biomasa dle DA	148,5	0,000525	0,965
	nadzemní biomasa dle Cienciala	180,8405	0,00042	0,938
	celková biomasa dle DA	260,8094	0,000432	0,962
	celková biomasa dle Cienciala	277,5	0,000293	0,934
Olše	nadzemní biomasa dle DA	146,0869	0,000562	0,982
	nadzemní biomasa dle Johansson	211,5799	0,000727	0,957
	celková biomasa dle DA	263,4438	0,000318	0,974
	celková biomasa dle Johansson	266,8393	0,000868	0,956

Ze vzájemného porovnání modelů vývoje nadzemní biomasy stromového patra na lokalitách (obrázek č. 10) je patrné, že modely pro popis vývoje biomasy v sukcesním jívovém porostu jsou téměř shodné. To odpovídá předpokladu, že alometrické rovnice sestavené na základě analýzy shodného porostu, kdy destruktivní analýza i výzkum Ciencialy probíhal na Podkrušnohorské výsypce, si budou vzájemně odpovídat.

Model vytvořený na základě dat výzkumu Johanssona predikuje vyšší produkci biomasy rekultivovaných olšových porostů, než model vytvořený na základě dat z destruktivní analýzy. To bude zřejmě způsobeno rozdílnou lokalitou výzkumu Johanssona.

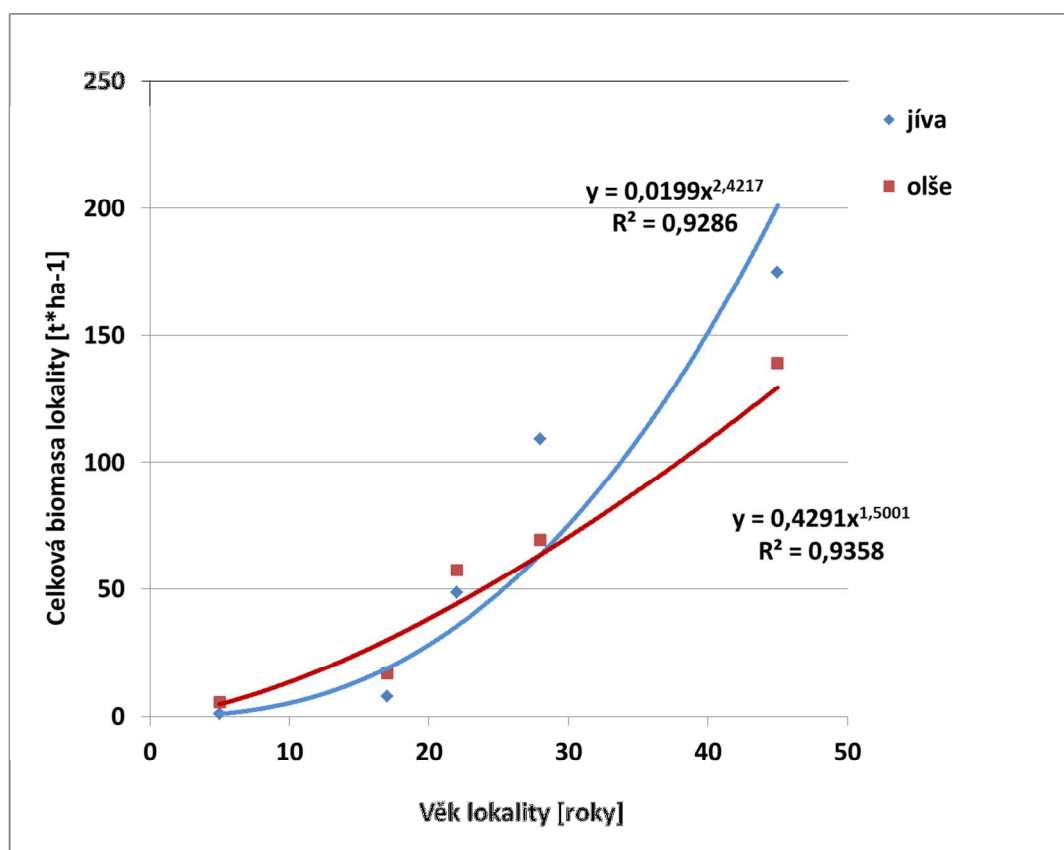
Pro kvantifikaci celkové biomasy lokalit byl tak zvolen výstupní model destruktivní analýzy, aby nedošlo v lokalitě Podkrušnohorské výsypky k výraznému nadhodnocení produkce rekultivovaných porostů, jejíž korektní použití bylo potvrzeno shodností výstupu s výzkumem Ciencialy.



Obrázek 10: Porovnání modelů vývoje nadzemní biomasy sušiny v chronosekvenci dle stáří lokality (DA x Cienciala, Johansson).

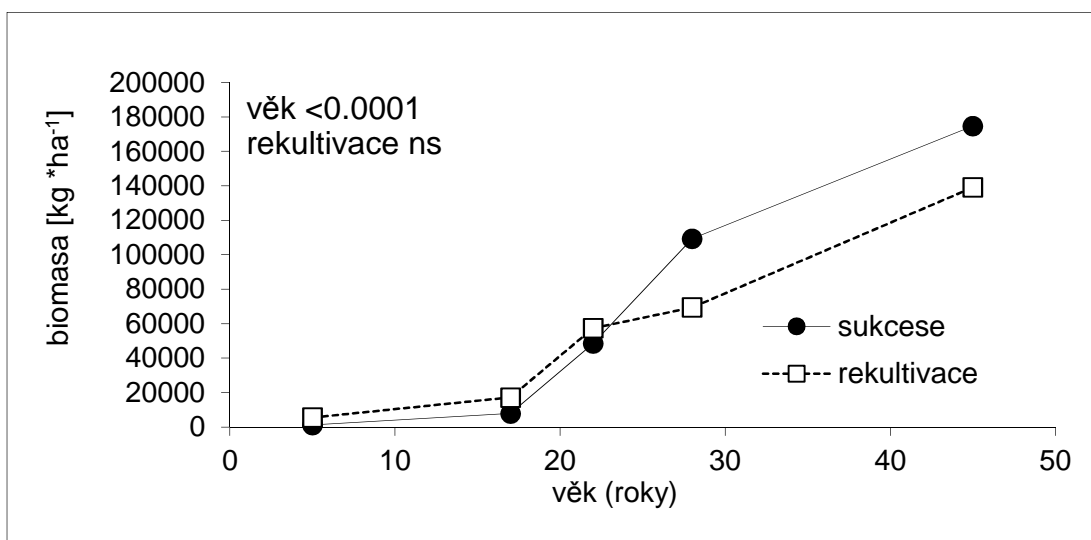
5.4. Celková biomasa lokalit

Z trendů nárůstu celkové biomasy lokality v čase (obrázek č. 11) je patrné, že v počátečních letech rozvoje vegetace je vyšší produkce biomasy na rekultivovaných plochách. To je zapříčiněno lesnickým managementem na rekultivovaných plochách, které jsou hned zpočátku osázeny již vzrostlými sazenicemi Olše lepkavé. Naproti tomu na nerekultivovaných sukcesních lokalitách, v době kdy jsou rekultivované plochy již osázené, dochází teprve k šíření diaspor vhodných ke kolonizaci plochy. Sukcesní plochy tak mají určité zpoždění za rekultivovanými. Ovšem trend nárůstu biomasy na nerekultivovaných plochách je rychlejší a mezi 22 – 28 rokem se dostávají do vyšší produkce biomasy sukcesní lokality. Analýza GLM však určila tento rozdíl celkové produkce lokalit jako statisticky nevýznamný (obrázek č.12).

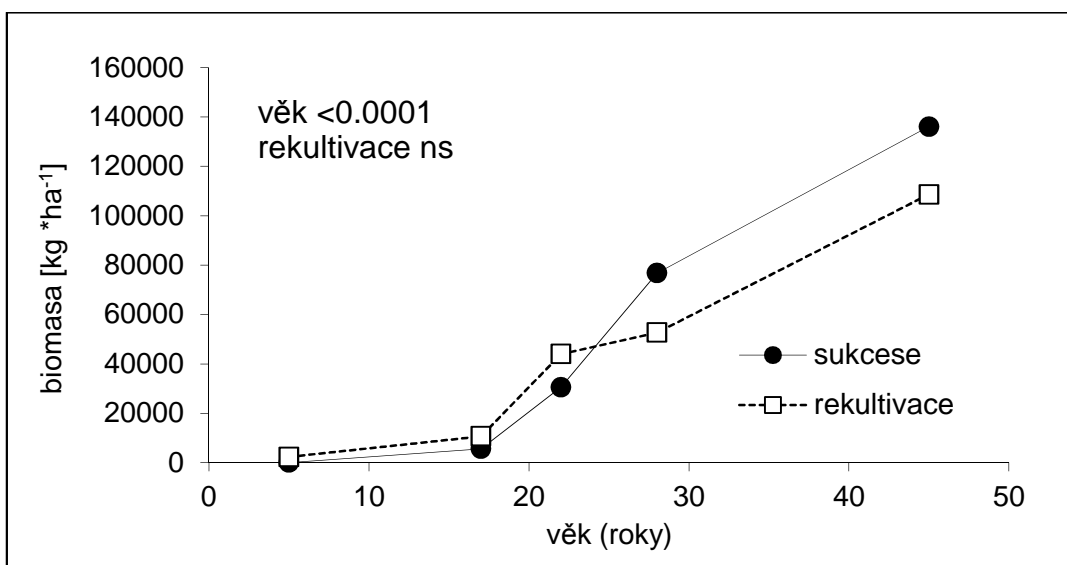


Obrázek 11: Trend vývoje celkové biomasy v chronosekvencích rekultivovaných (olše) a nerekultivovaných (jíva) ploch.

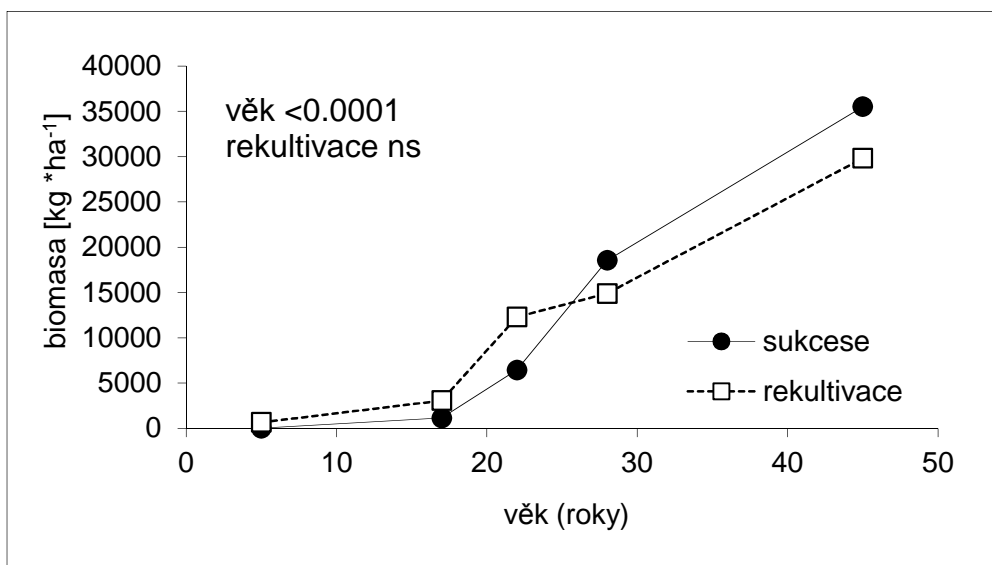
Bylo prokázáno, že u žádného ze sledovaných parametrů není statisticky významný rozdíl z hlediska způsobu obnovy (rekultivace vz. sukcese). Kromě biomasy F+H horizontu, nadzemní a podzemní části bylinné biomasy, jsou všechny kompartmenty signifikantně závislé na věku lokality (obrázek č. 12 - 18).



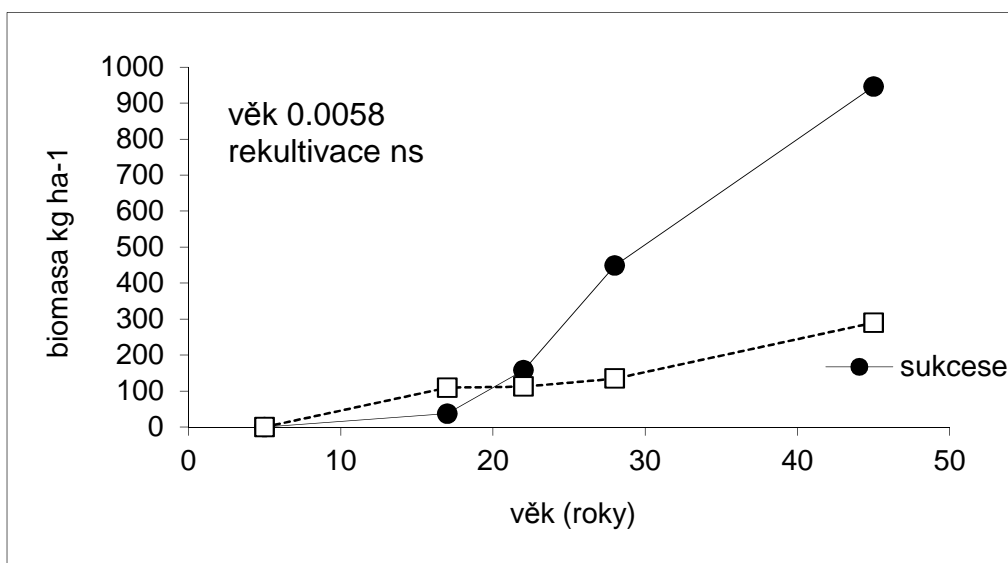
Obrázek 12 : Vývoj celkové biomasy v chronosekvencích rekultivovaných a nerektivovaných ploch, vložená tabulka udává hodnoty významnosti pro vliv věku ploch a rekultivace (Generální lineární modely).



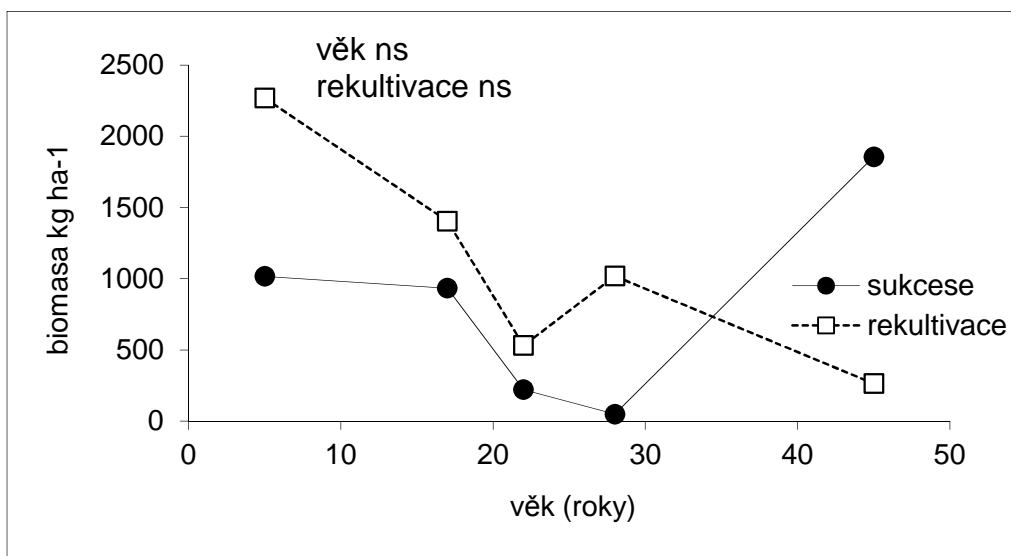
Obrázek 13: Vývoj nadzemí rostlinné biomasy v chronosekvencích rekultivovaných a nerektivovaných ploch, vložená tabulka udává hodnoty významnosti pro vliv věku ploch a rekultivace (Generální lineární modely).



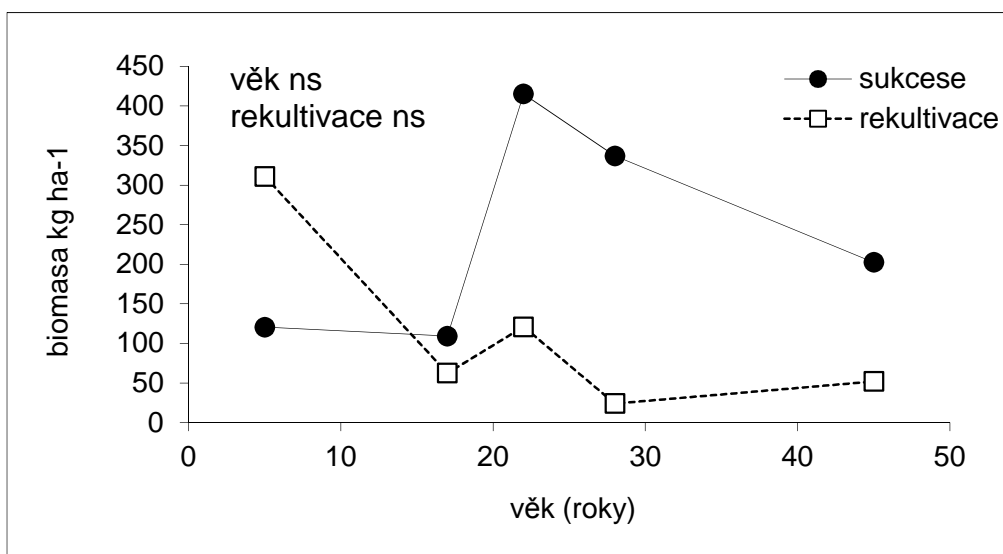
Obrázek 14: Vývoj biomasy kosterních kořenů stromů v chronosekvencích rekultivovaných a nerektivovaných ploch, vložená tabulka udává hodnoty významnosti pro vliv věku ploch a rekultivace (Generální lineární modely).



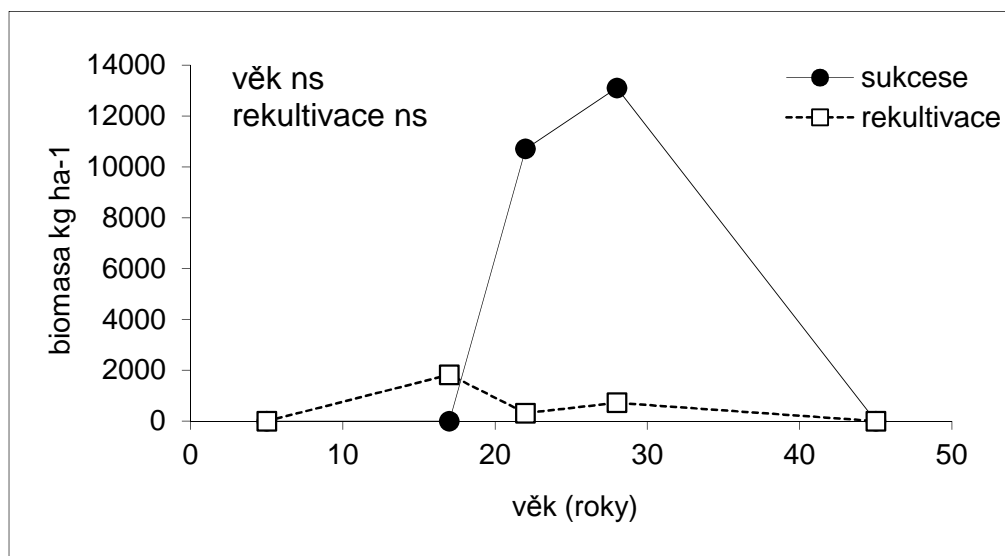
Obrázek 15: Vývoj biomasy mikrokořenů dřevin v chronosekvencích rekultivovaných a nerektivovaných ploch, vložená tabulka udává hodnoty významnosti pro vliv věku ploch a rekultivace (Generální lineární modely).



Obrázek 16: Vývoj nadzemní biomasy bylin v chronosekvencích rekultivovaných a nerektivovaných ploch, vložená tabulka udává hodnoty významnosti pro vliv věku ploch a rekultivace (Generální lineární modely).



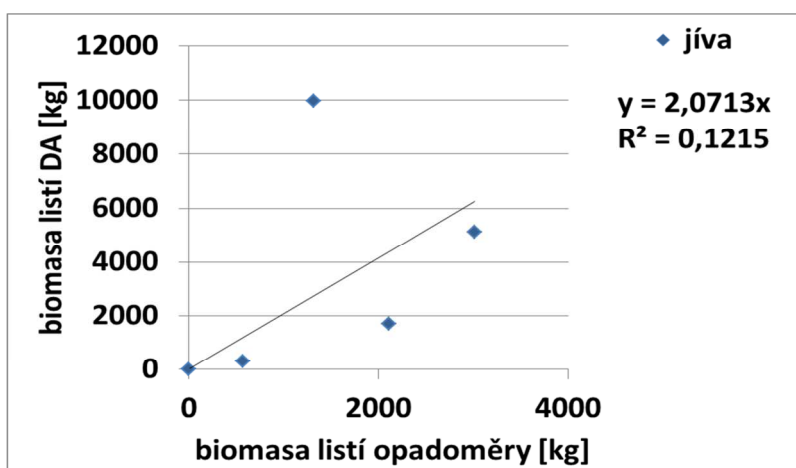
Obrázek 17: Vývoj podzemní biomasy bylin v chronosekvencích rekultivovaných a nerektivovaných ploch, vložená tabulka udává hodnoty významnosti pro vliv věku ploch a rekultivace (Generální lineární modely).



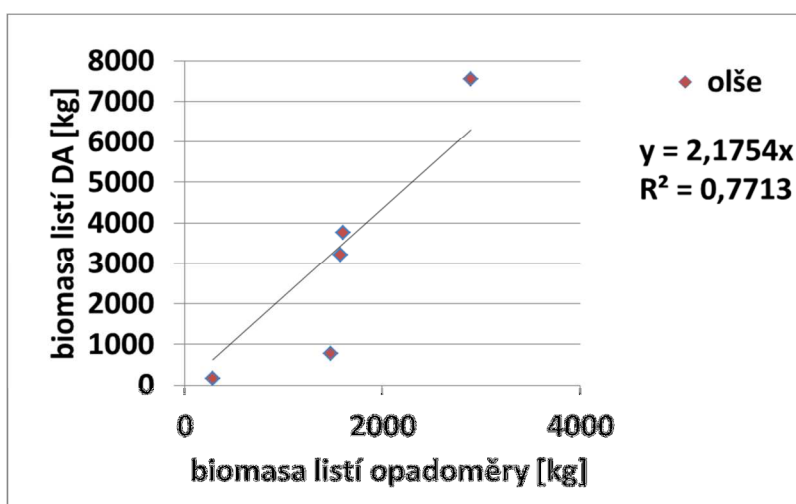
Obrázek 18: Vývoj F + H horizontu v chronosekvencích rekultivovaných a nerektivovaných ploch, vložená tabulka udává hodnoty významnosti pro vliv věku ploch a rekultivace (Generální lineární modely).

5.5. Biomasa opadu

Biomasa opadu byla na lokalitách určena pomocí opadoměrů. Ta byla porovnána s množstvím listů na stromech odhadnutým na základě dat z destruktivní analýzy celých stromů. Dle předpokladu, bylo množství biomasy určených z opadoměrů nižší, než z DA. Po určení závislosti mezi množstvím listů z DA a biomasou listů z opadoměrů, bylo upuštěno od použití dat o biomase listů z opadoměrů, neboť regresivní analýza neprokázala průkaznou závislost (obrázek č. 19 – 20).



Obrázek 19: Závislost množství opadu sukcesních ploch v opadoměrech a množstvím listů určeným destruktivní analýzou.



Obrázek 20: Závislost množství opadu sukcesních ploch v opadoměrech a množstvím listů určeným destruktivní analýzou.

6. Diskuse

Výrazně vyšší podíl obsahu vody ve dřevě Olše Lepkavé (více jak 10%) celkového obsahu vody, než ve vzorcích Topolu osiky a Vrby jívy lze vysvětlit celkově vyšší půdní vlhkostí na rekultivovaných plochách, než na plochách nerektivovaných (Cejpek, 2011). Nižší procento obsahu vody u Vrby jívy může být také zapříčiněno vyšší mírou transpirace vrb (Kuzovkina a Volk, 2009). Vyšší variabilitu obsahu vody v listové části stromu může být způsobena rozdílnou dobou vzorkování v průběhu letního dne.

Ačkoliv alometrické rovnice, využívané pro kvantifikaci biomasy jednokmenných stromů vykazují vysokou míru predikovatelnosti pouze s užitím údaje o průměru kmene, jejich použití u vícekmenných růstových forem může být problematické (Ens a kol., 2009). To se ovšem nepotvrdilo při destruktivní analýze a i u vícekmenné Vrby jívy byl užit vzorec s jediným vstupním údajem - DBH nejsilnějšího kmene polykormonu ($R^2 = 0,962$). Také Zhou a kol., 2007 uvádí nižší přesnost výpočtu biomasy vícekmenných stromů pouze na základě DBH nejsilnějšího kmene. Ovšem připouští, že v souvislém lesním porostu je míra určení biomasy dostatečně vysoká a až u volně rostoucích solitérních vícekmenných stromů je nutné použít jiné rovnice kalkulující i s průměry ostatních kmenů.

Zatímco Uri a kol. (2009), Johansson (2000) popisují závislost mezi věkem a nárůstem procentuálního zastoupení kmene na biomase nadzemní části stromu, tak regresní analýza dat DA signifikantní závislost neprokázala. U sukcesních ploch může být důvodem dostatek prostoru pro rozvoj korunové části stromu. U ploch rekultivovaných, kde sice data procentuálního zastoupení biomasy kmene vykazují vyšší variabilitu dat, ovšem bez signifikantní závislosti, to může být rozdílným způsobem péče o porost. Výše jmenované studie probíhaly na rekultivovaných plochách ovšem bez pozdějších výchovných zásahů. Na Sokolovské výsypce je praktikována lesnická probírka olšové rekultivace. Prozatím nižší věk porostu může být důvodem nesignifikantní závislosti a dá se předpokládat rostoucí podíl kmene v zastoupení biomasy

v pozdějších letech. Konstantní zastoupení v poměru kosterních kořenů a nadzemní části na celkové biomase stromu (Peichl a Arain, 2007, Singh a kol., 2011) bylo prokázáno i touto prací. Je nutné si ovšem uvědomit, že kosterní kořeny tvoří jen část podzemní biomasy stromu a při započtení biomasy jemných kořenů bude podíl kořenové části na celkové biomase ještě vyšší (Frouz a kol., 2009). Také rostoucí biomasa s klesajícím počtem jedinců na rekultivované lokalitě v závislosti na věku plochy odpovídá dalším pozorováním (Kuyah a kol., 2009). Analýza dendrometrických měření neprokázala statisticky významnou odlišnost chronosekvencí v parametru průměru DBH a průměrné výšky stromů. Dá se ovšem předpokládat, že postupem času začne rekultivovaný porost, udržován v rovnoměrném zápoji, nabývat větších průměrných výšek, než porost sukcesní, kde bude průměr snižován nižším keřovým podrostem (Šimíček, 1992, Čermák a Ondráček, 2009).

Práce dle předpokladu prokázala, že biomasa jednotlivých lokalit signifikantně narůstá s věkem těchto ploch. To je v souladu s tvrzením ostatních autorů, že biomasa všech iniciálních ekosystémů narůstá bez ohledu na to, je-li disturbovaná plocha ponechána samovolné sukcesi (Pietrzykowski a Krzaklewski, 2007, Prach a Hobbs, 2008, Johansson, 1999) a nebo je obnovena uměle, rekultivací (Blujdea a kol., 2012, Uri a kol., 2002, Wang, 2006).

Výsledky práce ukazují, že produkce spontánně zarostlých ploch Vrbou jívou a ploch rekultivovaných Olší lepkavou se statisticky významně neliší. To je v rozporu s dřívějšími výsledky kvantifikace dendromasy těchto studijních lokalit na Sokolovské výsypce (Cienciala, 2006). Výsledky studie (Cienciala, 2006) se shodují s výstupem této práce v kvantifikaci dendromasy na sukcesních lokalitách, kdy byl proveden výzkum na totožném lesním porostu. Při určení stromové biomasy rekultivovaných ploch se však výstupy rozcházejí. Důvodem je užití alometrických rovnic sestavených na základě výzkumu odlišného porostu. Tato práce vycházela z dat DA provedené přímo na lokalitách Sokolovské výsypky, kdežto převzaté vzorce ke kvantifikaci biomasy rekultivovaného porostu (Johansson, 1999) byly sestaveny na základě výzkumu, který probíhal na 60° severní šířky v severnějších částech Evropy a

na lokalitách opuštěné zemědělské půdy, tedy na rozdílném substrátu. Nejvýznamnějším faktorem by však mohlo být rozdílné lesnické hospodaření na výzkumných lokalitách.

Při přejímáním alometrických rovnic při kvantifikaci celkové dendromasy je významným faktorem, zda-li převzaté rovnice byly určeny na základě studia shodného porostu (Rock, 2007). Použití výstupů práce sestavené na základě studia vzrostlejšího porostu, vede k nadhodnocení výsledků při aplikaci těchto vzorců na porost nižší velikostní třídy (Breugel a kol., 2011). To bylo hlavním faktorem pro zpracování vlastní destruktivní analýzy přímo na lokalitě Sokolovské výsypky.

V rozporu s tvrzením některých autorů (Hytönen a Saarsalmi, 2009, Prach a Hobbs, 2008) není signifikantní rozdíl v produkci biomasy sukcesních a rekultivovaných lokalit. To může být způsobeno mnoha faktory, které na lesní porost na Sokolovské výsypce působí, např. klima, obsah živin v půdě, dostupnost vody nebo půdní struktura (Tahvanainen a Rytko, 1999). Ale i charakterem porostu. Zatímco rekultivovaný porost je lesnickými zásahy udržován v unifikovaném tvaru pouze se stromovým a bylinným patrem, v sukcesním porostu je zřejmá patrovitost porostu a je zde významná biomasa keřů (Hytönen a Saarsalmi, 2009). Dalším faktorem by mohla být vyšší produkce biomasy primárně sukcesní dřeviny Vrby jívy na nerekulitovaných lokalitách, než na jiných lokalitách, kde trpí konkurencí ostatních rostlin (Franklin a Frouz, 2007).

7. Závěr

Výsledky experimentální práce dokazují, že na lokalitě Podkrušnohorské výsypky není rozdílná produkce biomasy spontánně sukcesních ploch a lokalit rekultivovaných lesnickou výsadbou Olše lepkavé. Ani u dalších ze sledovaných parametrů není statisticky významný rozdíl z hlediska způsobu obnovy lokality. Jediným faktorem ovlivňujícím rozvoj biomasy jak v sukcesním, tak v rekultivovaném porostu je stáří lokality.

Dále byla pro objektivní kvantifikaci vývoje biomasy potvrzena důležitost analýzy konkrétního porostu.

Práce splnila předpoklad kvantifikace a porovnání vývoje biomasy na plochách s různým způsobem obnovy z analýzy vegetace na výsypce.

S těmito výsledky je dále uvažováno pro použití a rozšíření v tematicky navazujících pracích.

8. Použitá literatura

- **Begon M., Colin R., Townsend, Harper J.L., 2006:** Ecology: from individuals to ecosystems. *Blackwell publishing*, 738s.
- **Blažková M., 2011:** Vliv těžby na krajinu. *Online:* <http://litvinov.sator.eu/kategorie/krusnohori/v-prirode/vliv-tezby-na-krajinu> [10.6.2012]
- **Blujdea V.N.B., Pilli R., Dutca I., Ciuvat L., Abrudan I.V., 2012:** Allometric biomass equations for young broadleaved trees in plantations in Romania. *Forest Ecology and Management*, 264, 172-184s.
- **Bradshaw A., 1997:** Restoration of mined lands—using natural processes. *Ecological Engineering*, 8, 255–269s.
- **Breugel M., Ransijn J., Craven D., Bomgers F., Hall S.J., 2011:** Estimating carbon stock in secondary forests: Decisions and uncertainties associated with allometric biomass models. *Forest Ecology and Management*, 262(8), 1648-1657s.
- **Cejpek J., 2011:** Vodní režim rekultivovaných a nerekulitovaných výsypek. *Nepublikováno, dep.: knihovna ÚŽP PřF UK*, 72s.
- **Cienciala E., 2006:** Stanovení zásob dřevní biomasy (uhlíku) na zalesněných plochách lokality Vintířov. *IFER – Ústav pro výzkum lesních ekosystémů, Jílové u Prahy*, 22s.
- **Clements, F. E., 1916:** Plant succession: an analysis of the development of vegetation. *Carnegie Institute of Washington Publication. No 242. Washington, DC.*

- **Clewell A.F., Aronson J., 2009:** Ecological restoration: principles, values, and structure of an emerging profession. *Island Press, Washington, D.C.*, 216s.
- **Čermák P., Ondráček V., 2009:** Stanovištní a rhizologické vlastnosti dřevin využívaných při zalesňování výsypek severočeské hnědouhelné pánve. *VÚMOP, Praha*, 57s.
- **Dimitrovský K., 2001:** Tvorba nové krajiny na Sokolovsku. *Sokolovská uhelná, a.s., Sokolov*, 191s.
- **Ens J., Farrell R.E., Bélanger N., 2009:** Rapid biomass estimation using optical stem density of willow (*Salix* spp.) grown in short rotation. *Biomass and Bioenergy*, 33(2), 174-179s.
- **Fahey T.J. , Knapp A.K., 2007:** Principles and Standards for Measuring Primary Production. *Oxford University press*. 263s.
- **Franklin A., Frouz J., 2007:** Restoration of soil function on coal mine sites in eastern Tennessee 50 years after mining. *San Jose McEnery Convention Center, California*
- **Frouz J., Elhottová D., Kuráž V., Šourková M., 2006:** Effects of soil macrofauna on other soil biota and soil formation in reclaimed and unreclaimed post mining sites: Results of a field microcosm experiment. *Applied Soil Ecology*, 33, 308–320s.
- **Frouz J., Keplin B., Lukes A., Materna J., Du Ch., Chalupsky J., 2001:** Soil biota and upper soil layer development in two contrasting post-mining chronosequences. *Ecological Engineering*, 17, 275-284s.

- **Frouz J., Pižl V., Cienciala E., Kalčík J., 2009:** Carbon storage in post-mining forest soil, the role of tree biomass and soil bioturbation. *Biogeochemistry*, 94(2), 111-121s.
- **Frouz J., Pižl V., Tajovský K., 2007:** The effect of earthworms and other saprophagous macrofauna on soil microstructure in reclaimed and un-reclaimed post-mining sites in Central Europe. *European Journal of Soil Biology*, 43, 184 – 189s.
- **Frouz J., Prach K., Pižl V., Háněl L., Starý J., Tajovský K., Materna J., Balík V., Kalčík J., Řehounkova K., 2008:** Interactions between soil development, vegetation and soil fauna during spontaneous succession in post mining sites. *European journal of soilbiology* 44 , 109 – 121s.
- **Hytönen J., Saarsalmi A., 2009:** Long-term biomass production and nutrient uptake of birch, alder and willow plantations on cut-away peatland. *Biomass and Bioenergy*, 33(9), 1197-1211s.
- **Jakrlová J., Pelikán J., 1999:** Ekologický slovník. *Fortuna, Praha*, 144s.
- **Johansson T., 1999:** Biomass equations for determining fractions of European aspen growing on abandoned farmland and some practical implications. *Biomass and Bioenergy*, 17, 471-480s.
- **Johansson T., 2000:** Biomass equations for determining fractions of common and grey alders growing on abandoned farmland and some practical implications. *Biomass and Bioenergy*, 18, 147-159s.
- **Kuyah S., Dietz J., Muthuri C., Jamnadass R., Mwangi P., Coe R., Neufeldt H., 2012:** Allometric equations for estimating biomass in agricultural landscapes: I. Aboveground biomass. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 158, 216-224s.

- **Kuzovkina Y., Volk T., 2009:** The characterization of willow (*Salix* L.) varieties for use in ecological engineering applications: Co-ordination of structure, function and autecology. *Ecological Engineering*, 35(8), 1178-1189s.
- **Pecharová E., Sýkorová Z., Šťastný J., 2009:** Rekultivace jako nástroj obnovy funkce vodního režimu krajiny po povrchové těžbě hnědého uhlí. MZ, *online*: <http://www.mze-vyzkum-infobanka.cz/DownloadFile/54283.aspx> [18.7.2012]
- **Peichl M., Arain M. A., 2007:** Allometry and partitioning of above- and belowground tree biomass in an age-sequence of white pine forests. *Forest Ecology and Management*, 253(1-3), 68-80s.
- **Pietrzykowski M., Krzaklewski W., 2007:** An assessment of energy efficiency in reclamation to forest. *Ecological Engineering*, 30(4), 341-348s.
- **Prach K., 1994:** Monitorování změn vegetace – metody a principy. *Český ústav ochrany přírody, Praha*, 69s.
- **Prach K., Hobbs R., 2008:** Spontaneous Succession versus Technical Reclamation in the Restoration of Disturbed Sites. *Restoration Ecology*, 16(3), 363–366s.
- **Rock J., 2007:** Suitability of published biomass equations for aspen in Central Europe—Results from a case study. *Biomass and Bioenergy*, 31(5), 299-307s.
- **Routa M. et ČZU, 2008:** Obnova lesního prostředí při zalesnění nelesních a devastovaných stanovišť. *ČZU, Praha*, 61-64s.
- **Řehounek J., Řehouňková K., Prach K.[eds.], 2010:** Ekologická obnova území narušených těžbou nerostných surovin a průmyslovými deponiemi. *Calla, České Budějovice*, 171s

- **Singh V., Tewari A., Kushwaha S., Dadhwal V., 2011:** Formulating allometric equations for estimating biomass and carbon stock in small diameter trees. *Forest Ecology and Management*, 261(11), 1945-1949s.
- **Šimíček V., 1992:** Vrby při úpravách vodních toků a ekologické obnově krajiny. *Agrospoj, Praha*, 144s.
- **Štýs S. a kol., 1981:** Rekultivace území postižených těžbou nerostných surovin. *SNTL Nakladatelství technické literatury, Praha*, 680s
- **Štýs S., Helešicová L., 1992:** Proměny měsíční krajiny. *Bílý slon, Praha*, 256s.
- **Tahvanainen L., Rytko V., 1999:** Biomass production of *Salix viminalis* in southern Finland and the effect of soil properties and climate conditions on its production and survival. *Biomass and Bioenergy*, 16, 103-117s.
- **Uri V., Lohmus K., Kiviste A., Aosaar J., 2009:** The dynamics of biomass production in relation to foliar and root traits in a grey alder (*Alnus incana* (L.) Moench) plantation on abandoned agricultural land. *Forestry*, 82(1), 61-74s.
- **Uri V., Tullus H., Lo K., 2002:** Biomass production and nutrient accumulation in short-rotation grey alder (*Alnus incana* (L.) Moench) plantation on abandoned agricultural land. *Forest Ecology and Management*, 161, 169-179s.
- **van Andel J., Aronson J. [eds.], 2006:** Restoration ecology. *Blackwell, Oxford, UK*, 319s.
- **Vobořilová V., 2011:** Faktory ovlivňující šíření buku lesního (*Fagus sylvatica*) na výsypce po těžbě uhlí. *Nepublikováno, dep.: knihovna ÚŽP PŘF UK*, 56s.
- **Walker L.R., del Moral R., 2003:** Primary succession and ekosystém rehabilitation. *Cambridge University press, USA*, 458s.

- **Wang Ch., 2006:** Biomass allometric equations for 10 co-occurring tree species in Chinese temperate forests. *Forest Ecology and Management*, 222(1-3), 9-16s.
- **Zhou X., Brandle J., Schoeneberger M.M., Awada T., 2007:** Developing above-ground woody biomass equations for open-grown, multiple-stemmed tree species: Shelterbelt-grown Russian-olive. *Ecological Modelling*, 202(3-4), 311-323s.
- **Zianis D., Mencuccini M., 2004:** On simplifying allometric analyses of forest biomass. *Forest Ecology and Management*, 187(2-3), 311-332s.